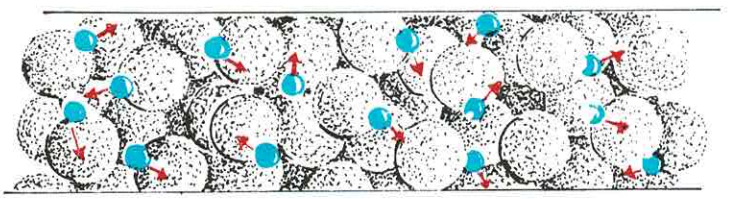
פרק ב - הזרם החשמלי

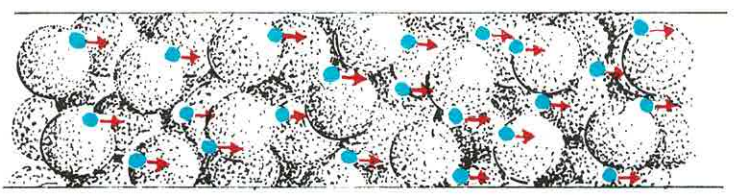
הגדרת הזרם החשמלי

ראינו בפרק הקודם, כי בחומר קיימת תנועה בלתי פוסקת של אלקטרונים חופשיים מאטום לאטום. תנועה זו היא מקרית ובלתי מכוונת, כמתואר בציור ב1, ואינה מורגשת כלפי חוץ.



ציור ב'1

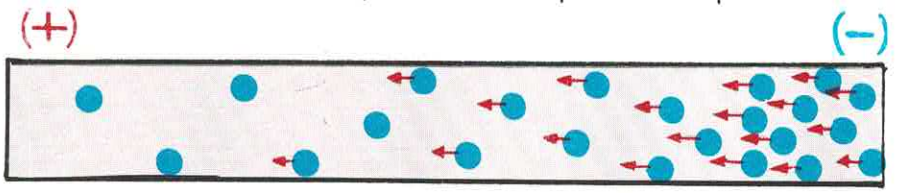
אם נצליח, בדרך כלשהי, להביא לכך שהאלקטרונים החופשיים יזרמו בצורה מכוונת ומסודרת, לאורכו של תייל עשוי חומר מוליך, נגרום שלאורך התייל יזרום ז ר ם ח ש מ ל י (ציור ב'2). ברור שעל-ידי-כך אנו נביא להעברת מטענים חשמליים ממקום למקום.



ציור ב'2

השאלה הנשאלת היא: כיצד נגרום שה**אלקטרונים** החופשיים, המצויים בתייל ונעים תנועה מקרית ובלתי מכוונת, יזרמו בצורה מכוונת ומסודרת מקצה אחד של התייל המוליך אל קצהו השני?

נניח לרגע שהצלחנו, בדרך כלשהי, לגרום שבקצהו האחד של התייל יהיה ריכוז רב של אלקטרונים חופשיים ובקצהו השני מחסור. ברור שבמצב זה יהיה הקצה העשיר באלקטרונים חופשיים טעון מטען חשמלי שלילי והקצה החסר אלקטרונים חופשיים יהיה – טעון מטען חשמלי חיובי. התוצאה: משיכה בין שני המטענים שוני הסימן, ועודף האלקטרונים החופשיים יזרום אל הקצה החסר אלקטרונים חופשיים, עד להשתוות (ציור ב׳3).



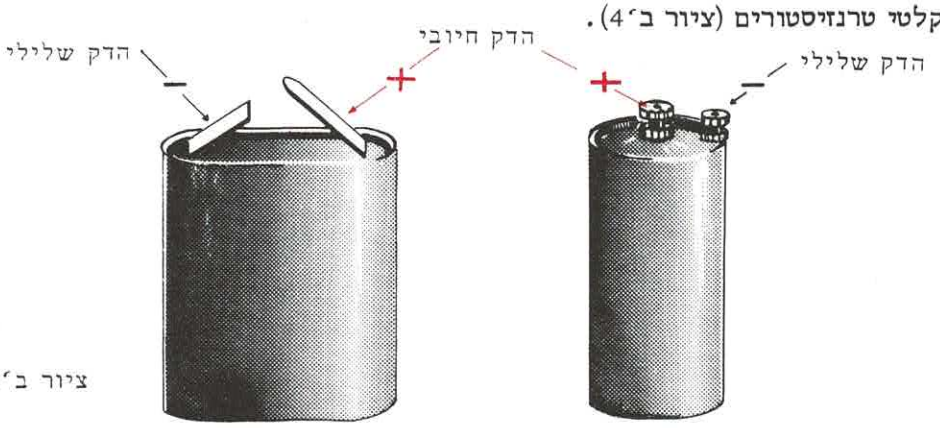
ציור ב׳3

נגדיר עתה מהו זרם חשמלי:

<u>זרם חשמלי הוא תנועה מכוונת ומסודרת של אלקטרונים חופשיים לאורכו של מוליך.</u>

המעגל החשמלי

הסברנו עד כה את מהות הזרם החשמלי וראינו שכדי שתתקיים זרימת זרם חשמלי, לאורכו של תייל מוליך, עלינו ליצור הפרש בריכוזי האלקטרונים החופשיים, הקרוי הפרש פוטנציאלים או מתח חשמלי. משיגים זאת באמצעות מקור מתח, כגון סוללה חשמלית או תא חשמלי, המוכרים לנו משימושם הרב כמקורות מתח לפנסי יד ולמקלטי טרנזיסטורים (ציור ב׳4).



ציור ב׳4

סוללה חשמלית

תא חשמלי

אנו נעסוק במושג "מתח חשמלי" ביתר פרוטרוט בפרק ד׳.

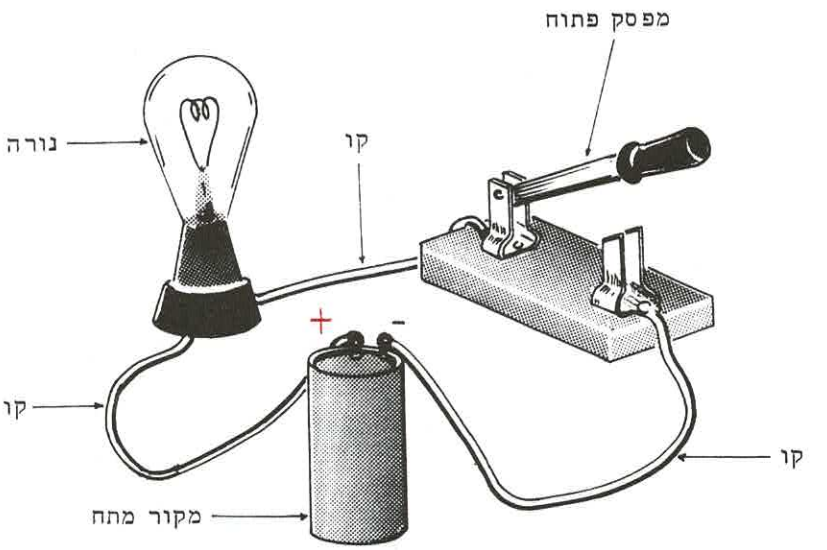
תפקידו של התא החשמלי, כמקור מתח, ליצור הפרש קבוע בריכוזי אלקטרונים חופשיים בין שני קצות התייל המוליך, על מנת שזרם חשמלי קבוע יזרום דרך התייל המוליך.

ההדק, בו מצוי ריכוז אלקטרונים חופשיים, קרוי הדק שלילי או קוטב שלילי ומסומן (-) וההדק בו מצוי חוסר אלקטרונים חופשיים קרוי הדק חיובי או קוטב חיובי ומסומן (+).

הזרם החשמלי מנוצל להפעלת מכשירים חשמליים שונים כגון נורות, מגהצים, מנועים וכו׳. מכשירים כגון אלה קרויים צרכנים או עומסים, והם אינם אלא מכשירים המנצלים את הזרם החשמלי הדרוש לפעולתם.

הזרם החשמלי זורם אל הצרכן דרך תיילים מוליכים, הקרויים קווים ועשויים על-פי-רוב נחושת.

כדי להפסיק ולחדש את זרימת הזרם החשמלי אנו משתמשים במפסקים. נוכל לסכם ולומר שמערכת הכוללת: מקור מתח, צרכן, קו ומפסק קרויה מעגל חשמלי (ציור ב׳5).

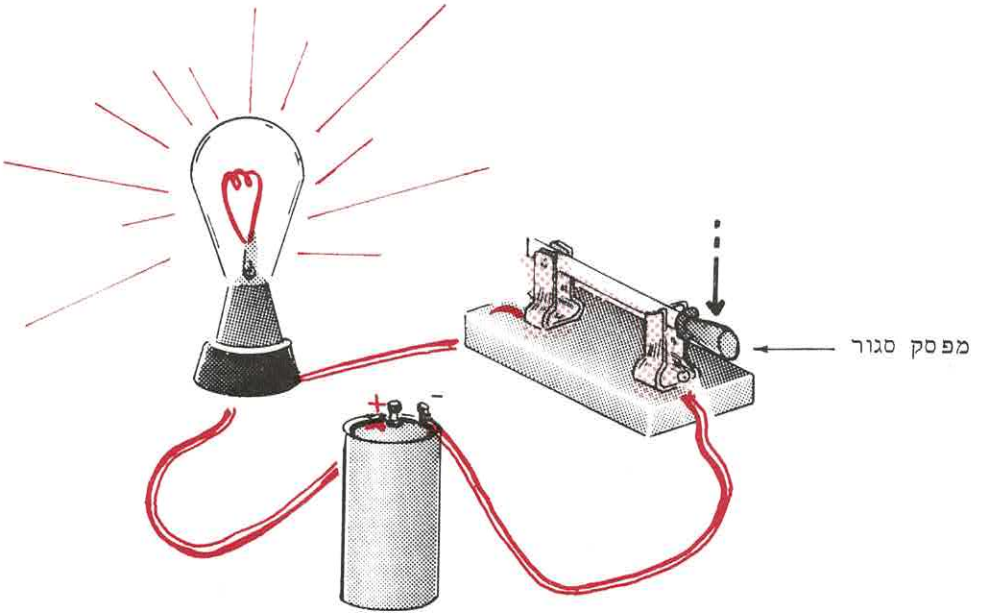


ציור ב׳5

המפסק אינו משמש בהכרח חלק מהמעגל החשמלי הבסיסי, ומעגל חשמלי עשוי להתקיים ולמלא את יעודו ללא מפסק. עם זאת חשוב שבמעגל החשמלי ימצא גם מפסק המאפשר הפסקת זרימת הזרם חידושה בהתאם לרצוננו.

כדי שתתקיים זרימה של זרם חשמלי, חייב המעגל החשמלי להיות מ ע ג ל ח ש מ ל י ס ג ו ר, כדי לאפשר לאלקטרונים החופשיים מעבר רצוף ממקור המתח, דרך הצרכן, חזרה למקור המתח.

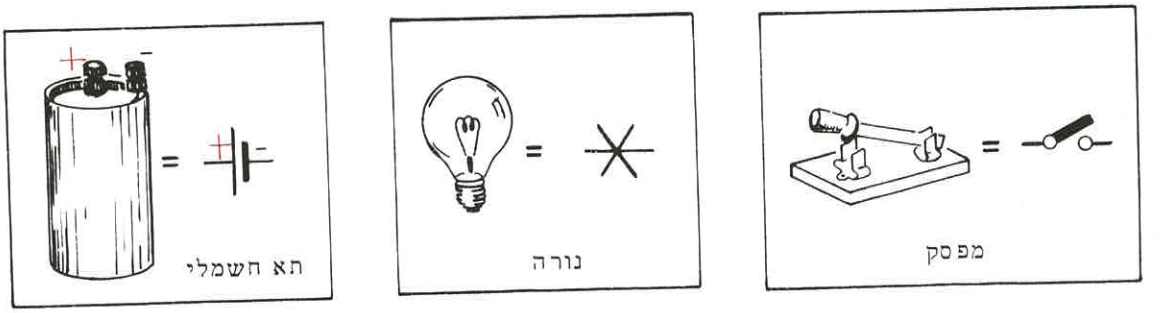
משיגים זאת על-ידי סגירת המפסק (ציור ב׳6)



ציור ב׳6

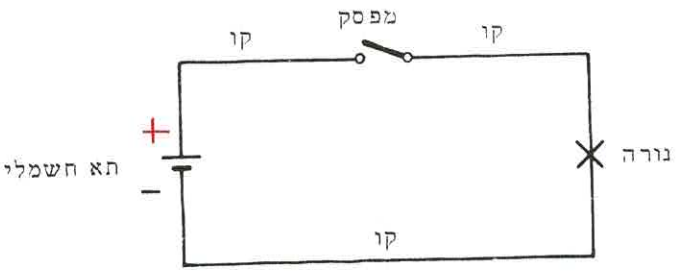
הציורים ב׳5 ו-ב׳6, בהם נעזרנו כדי לתאר את המעגל החשמלי, אינם נוחים בהיותם קשים לבצוע. אנו נשתמש להבא בסימנים מוסכמים, הנוחים מאד לצורך הכנת תרשימים כגון אלה.

בהשתמשנו בסימנים המקובלים, נחסוך לעצמנו עבודה רבה וזמן יקר. חשיבות לדבר תהיה בעיקר, כאשר נהיה זקוקים לתרשימים של מעגלים חשמליים מורכבים ומסובכים יותר (ציור ב׳7).



ציור ב׳7

אם נעזר בסימנים המוסכמים, המופיעים בציור ב׳7, כדי להכין מחדש את התרשים שבציור ב׳5, נוכל להשוות ולהיווכח, עד כמה קל יותר השימוש בסימנים המוסכמים (ראה ציור ב׳8).



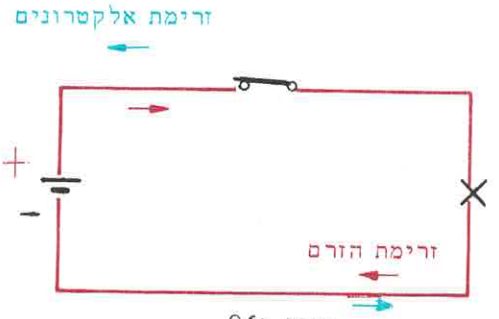
ציור ב׳8

לו יכולנו לספור את מספר האלקטרונים החופשיים, העוזבים את ההדק השלילי של מקור המתח וחוזרים להדק החיובי דרך הצרכן והקוים, היינו נוכחים, שמספרם שווה. ובאמת אין אלקטרונים חופשיים הולכים לאיבוד, בתוך מעגל חשמלי, ואותו מספר אלקטרונים חופשיים היוצאים את ההדק השלילי, חוזרים אל ההדק החיובי.

ראינו, אם כן, שהאלקטרונים החופשיים במעגל חשמלי, זורמים מההדק השלילי של מקור המתח, דרך הקווים והצרכן, אל ההדק החיובי של מקור המתח. למרות זאת, קבעו בזמנו, באופן שרירותי לחלוטין וללא ידיעת התורה המודרנית של מבנה האטום, כי הזרם החשמלי זורם מההדק החיובי של מקור המתח אל ההדק השלילי, דרך הקווים והצרכן. קביעה זו נראית בלתי נחזה, במדה מסויימת, אך הואיל ואינה משנה כלל וכלל את התופעות בהן נעסוק בספרנו, אין טעם לשנותה ונתרגל לכך, שכיוון זרימת הזרם הפוך לכיוון זרימת האלקטרונים (ציור ב׳9).

ז כ ו ר: הזרם החשמלי זורם במעגל החשמלי מ-(+) ל-(-).

עוצמת הזרם החשמלי



ציור ב'9

ראינו בפרק הקודם, כי האלקטרונים החופשיים נושאים מטען חשמלי. הווה אומר, שהזרם החשמלי, הזורם לאורכו של מוליך, מעביר מטען חשמלי דרך המוליך. הגדרנו כמו כן את יחידת המטען החשמלי "קולון" כמטענם של 6.28×10^{18} אלקטרונים.

נניח לרגע, שאנו מסוגלים לספור את מספר האלקטרונים החופשיים, הזורמים דרך חתך לרוחב של תייל מוליך במעגל חשמלי. על-ידי-כך נדע מהו המטען, אשר עובר דרך החתך, הואיל וידוע לנו כי 6.28×10^{18} אלקטרונים חופשיים מהווים מטען של "קולון" אחד.

ידיעת כמות המטען, שעברה דרך החתך, של התייל, אינה נותנת לנו עדיין מושג באשר לעוצמה של הזרם החשמלי, התלויה במשך הזמן, בו עבר המטען. ברור, שאם מטען של "קולון" אחד יעבור דרך התייל במשך פרק זמן של שנייה אחת, תהיה עוצמתו של הזרם החשמלי חזקה יותר מאשר אם אותו מטען יעבור דרך התייל במשך פרק זמן של שתי שניות.

נוכל להגדיר עתה, כי ע ו צ מ ת ה ז ר ם ה ח ש מ ל י (I) מציינת את המטען החשמלי, העובר דרך חתך של תייל מוליך במשך פרק זמן של שניה אחת.

י ח י ד ת ע ו צ מ ת ה ז ר ם

יחידת עוצמת הזרם היא ק ו ל ו ן ב ש נ י ה, כינויה "א מ פ ר" וסימונה [A]. הווה אומר, שאם במשך שניה אחת עובר, דרך חתך של התייל המוליך, מטען של "קולון" אחד, תהיה עוצמת הזרם "אמפר" אחד.

לפנינו שלושה גורמים: המטען החשמלי (Q), עוצמת הזרם (I) והזמן (t), וכפי שראינו הם קשורים ביניהם ותלויים זה בזה.

נרכיב עתה את הנוסחא המקשרת בין שלושת גורמים אלה.

ראינו שככל שהמטען החשמלי גדל כן גדלה גם עוצמת הזרם; כלומר, עוצמת הזרם נמצאת ביחס ישר למטען החשמלי.

לעומת זאת, ככל שגדל משך זמן הזרימה כן קטנה עוצמת הזרם; מכאן שעוצמת הזרם נמצאת ביחס הפוך לזמן.

אי לכך, הנוסחא המקשרת בין שלשת הגורמים תהיה:

$$\boxed{I = \frac{Q}{t}}$$

I : עוצמת הזרם ביחידות "אמפר" [A].

Q : המטען ביחידות "קולון" [C].

t : הזמן ביחידות "שנייה" [sec].

באמצעות נוסחא זו ניתן לחשב את עוצמת הזרם, כאשר ידועים המטען והזמן.

דוגמא: דרך חתך של מוליך עבר מטען חשמלי של 6 קולון במשך פרק זמן של 2 שניות. חשב את עוצמת הזרם.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{6}{2} = 3A$$

על ידי שינוי נושא הנוסחא נגיע לשתי נוסחאות נוספות אשר יאפשרו לנו לחשב את המטען (Q) או את הזמן (t), כאשר ידועים שני הגורמים הנותרים:

$$\boxed{Q = It} \qquad (1)$$

פרוש הנוסחא הוא, כי המטען החשמלי (Q) שוה לעוצמת הזרם (I) במוליך, כפול משך זמן הזרימה (t) ובאמצעותה ניתן לחשב את המטען, כאשר ידועים עוצמת הזרם ומשך זמן הזרימה.

דוגמא: מהו המטען החשמלי, אשר עבר דרך נורה חשמלית, אם במשך פרק זמן של שעה אחת זרם דרכה זרם חשמלי בעוצמה של 0.5 אמפר? (שים לב! את הזמן יש להציב לנוסחא בשניות).

$$Q = It = 0.5 \times 3600 = 1800C$$

$$\boxed{t = \frac{Q}{I}} \qquad (2)$$

פירוש הנוסחא הוא, כי משך זמן הזרימה (t) שווה למטען (Q) , אשר עבר דרך חתך במוליך, חלקי עוצמת הזרם (I) . באמצעות נוסחא זו ניתן לחשב את משך זמן הזרימה, כאשר ידועים המטען ועוצמת הזרם.

דוגמא: תוך איזה פרק זמן יעבור, דרך צרכן, מטען של 100 קולון אם עוצמת הזרם היא 0.25 אמפר?

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{100}{0.25} = 400 \text{ sec}$$

יחידת עוצמת הזרם "אמפר" [A] היא יחידה גדולה יחסית, ולעיתים קרובות עלינו להשתמש ביחידות עוצמת-זרם קטנות יותר.

יחידה שימושית, קטנה יותר, היא "מ י ל י א מ פ ר" [mA] והיא שווה לאלפית האמפר:

$$1mA = \frac{1}{1000} A = 10^{-3} A$$

יחידה קטנה עוד יותר היא "מ י ק ר ו א מ פ ר" [μA] והיא שווה לחלק המיליון של אמפר:

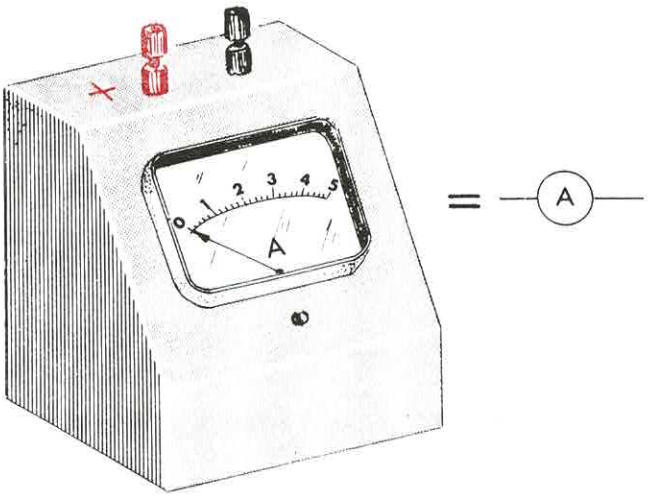
$$1\mu A = \frac{1}{1000000} = 10^{-6} A$$

מ ד י ד ת ע ו צ מ ת ה ז ר ם

עוצמת הזרם ניתנת למדידה באמצעות מכשיר הקרוי מ ד - ז ר ם או אמפרמטר (ציור ב'10).

המכשיר בנוי מנגנון חשמלי, אשר את פעולתו נכיר בפרק הדן במכשירי מדידה.

בחזית המכשיר מצוי לח שנתות ומחוג, המציין את עוצמת הזרם החשמלי, הזורם דרך המכשיר, ומעליו שני הדקים לחיבור המכשיר במעגל חשמלי.

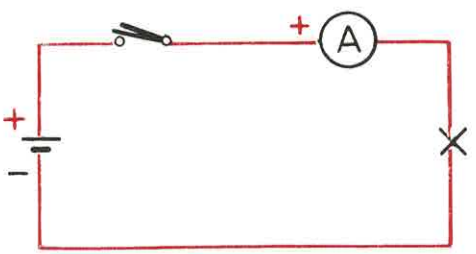


ציור ב׳10

בציור ב׳11 אנו רואים את אופן החיבור של מד הזרם במעגל חשמלי.

שים לב:

ההדק החיובי של מד הזרם מחובר בצד ההדק החיובי של מקור המתח.



ציור ב׳11

סוגי הזרם החשמלי

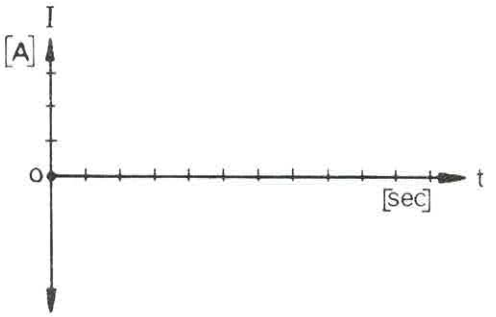
קיימים שני סוגים יסודיים של זרם חשמלי והם: זרם-ישר וזרם-חילופין. נכיר עתה כל אחד מהם בנפרד.

זרם-ישר

הזרם הישר הוא זרם חשמלי שאינו משנה את כיוון זרימתו. הזרם הישר עשוי לזרום בכל עוצמה, אך זרימתו תמיד באותו כיוון.

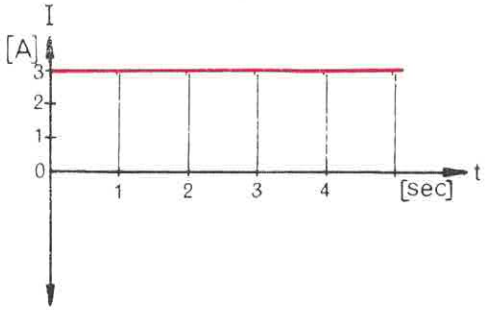
הסימון הלועזי המקוצר לזרם ישר הוא (DC) והסימן הגרפי המוסכם הוא (–).
לשם תאור גרפי של עוצמת הזרם כתלות של הזמן ניעזר במערכת צירים (ציור ב'12).

הציר האנכי מתאר את עוצמת הזרם (I) ביחידות [A] והציר האופקי את הזמן (t) ביחידות [sec]. נקודת המפגש של שני הצירים קרויה ראשית הצירים וסימונה (0)



ציור ב'12

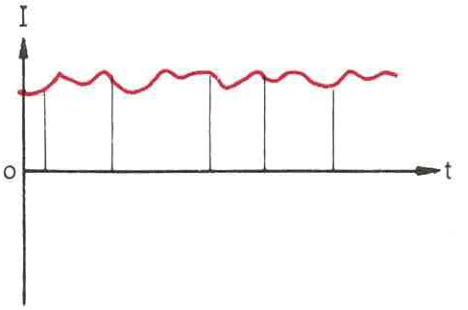
בציור ב'13 מופיע התאור הגרפי של זרם ישר רציף, אשר אינו משנה כיוונו ואף לא את עוצמתו. אם נתבונן בציור נראה, כי ברגע t=o עוצמת הזרם היא 3A ונשארת קבועה גם ברגע t = 1sec וכך גם הלאה.



ציור ב'13

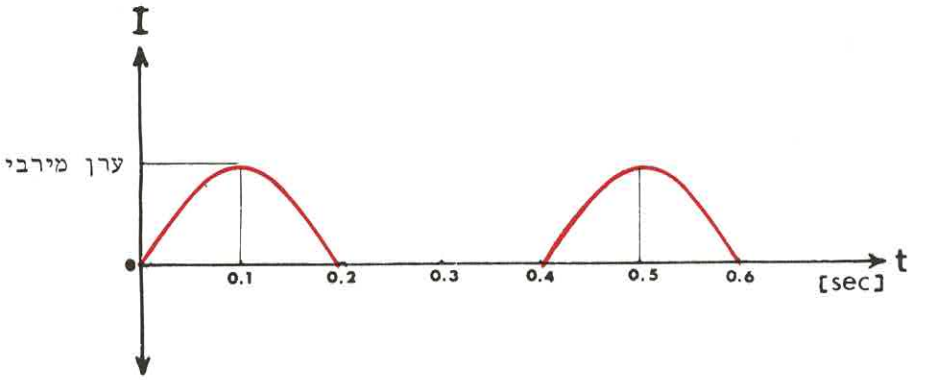
בציור ב'14 מופיע התיאור הגרפי של זרם ישר גלי. זרם זה אינו משנה את כיוון זרימתו, אך עוצמתו משתנה מעט בצורה גלית.

בציור ב'15 מתואר גרף של זרם ישר פועם. אנו רואים, שגם זרם זה אינו משנה את כיוון הזרימה שלו, אך משנה את עוצמתו מ-0 עד לערך מירבי כלשהו.



ציור ב'14

אם נתבונן בציור נראה, כי ברגע t=o , עוצמת הזרם שוה – 0. לאחר מכן, עוצמת הזרם עולה בהדרגה וברגע t=0.1sec היא מגיעה לערך מירבי ושוב יורדת בהדרגה, עד שברגע t=0.2sec היא חוזרת חזרה ל-0. במשך שתי עשיריות השניה אין זורם כלל זרם, וברגע t=0.4sec שוב מתחילה עליה הדרגתית חוזר חלילה.



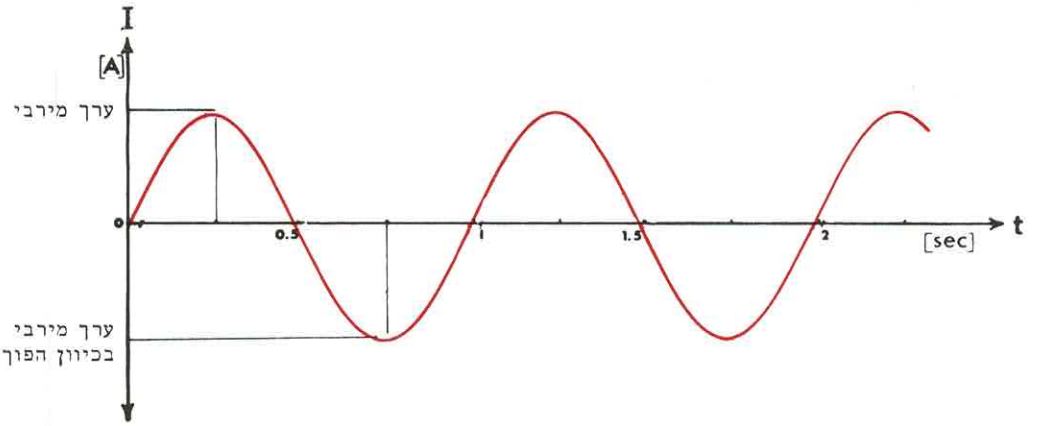
ציור ב׳15

זרם-חילופין

זרם-חילופין הוא זרם, המשנה את עוצמתו ומחליף את כיוונו.

הסימון הלועזי המקוצר לזרם חילופין הוא (AC) והסימן הגרפי המוסכם הוא (∿)

בציור ב׳14 מופיע גרף, המתאר זרם חילופין.



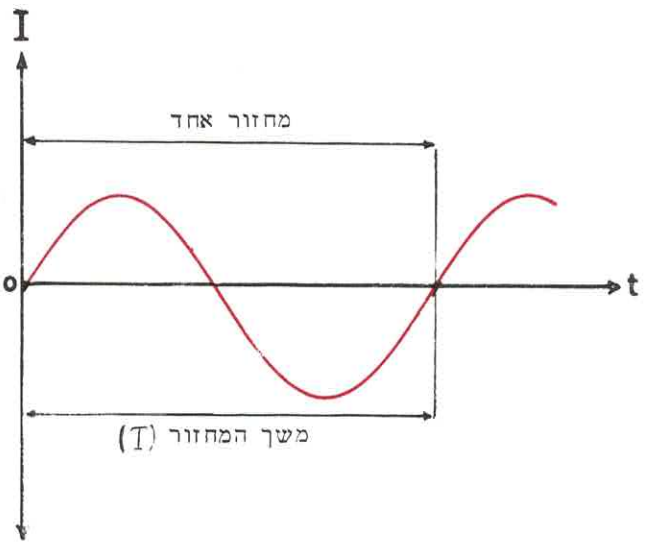
ציור ב׳14

אנו רואים, כי ברגע t=o , שווה עוצמת הזרם לאפס, לאחר מכן היא עולה בהדרגה, מגיעה לעוצמה מירבית, ושוב יורדת לאפס.

ברגע t=0.5sec , משנה הזרם את כיוונו, מתחיל לזרום בכיוון הפוך, מגיע לערך הפוך מירבי, חוזר לאפס וברגע t = 1sec הופך שוב את כיוונו וחוזר חלילה. הקו העקום, המתאר את עוצמת זרם החילופין קרוי **סינוסואידה**.

זרם חילופין הוא **זרם מחזורי**, וכיוונו משתנה בפרקי זמן שווים וקבועים.

בשם **מחזור** אנו מכנים את התופעה, החלה בפרק הזמן (T) החולף מרגע שעוצמת הזרם מתחילה לעלות באחד הכיוונים ועד לרגע שהיא עולה שוב באותו הכיוון (ציור ב'15).



ציור ב'15

נתבונן עתה בציור ב'15 ונראה, כי בכל מחזור משנה הזרם את כיוונו פעמיים.

את מספר המחזורים של הזרם, החלים בשניה אחת, אנו מכנים **תדירות** (f), ויחידת התדירות היא הרץ [Hz]. הוה אומר, שאם תדירות הזרם היא f = 50 Hz , הרי בכל שנייה חלים 50 מחזורים שלמים, והזרם משנה כיוונו 100 פעמים.

ככל שמשך המחזור (T) ארוך יותר, יהיה מספר המחזורים בשניה אחת קטן יותר, או במילים אחרות: ניתן לומר, כי התדירות (f) תהיה נמוכה יותר.

אי לכך הנוסחא המקשרת בין התדירות למשך המחזור תהיה:

$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

f : התדירות ביחידות "הרץ" [Hz]

T : משך המחזור בשניות [sec]

דוגמא: משך המחזור של זרם חילופין הוא 0.1 שניה. חשב את תדירות הזרם.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.1} = 10 \text{ Hz}$$

מהנוסחא $f = \frac{1}{T}$. נוכל להפיק נוסחא נוספת, באמצעותה נחשב את משך המחזור (T), כאשר ידועה התדירות (f).

$$T = \frac{1}{f}$$

פירוש נוסחא זו הוא שככל שהתדירות (f) גבוהה יותר, יהיה משך המחזור קצר יותר, ולהיפך: ככל שהתדירות תהיה נמוכה יותר, משך המחזור יהיה ארוך יותר.

דוגמא: תדירות הזרם היא 100 מחזורים בשניה (100 Hz). חשב את משך המחזור.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ sec}$$

שימושי זרם ישר וזרם חילופין

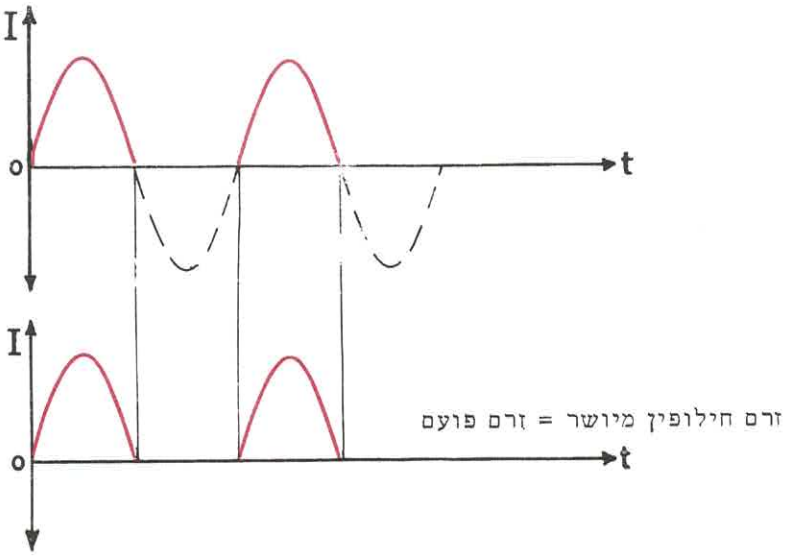
הזרם הישר משמש להפעלת מכשירים אלקטרוניים, לציפוי מתכות, ולהפעלת מכונות חשמל מסוימות, אך חסרונותיו רבים בהשוואה לזרם חילופין.

הזרם הישר מופק מסוללות, מצברים, וממכונות חשמל הקרויות מחוללים (גנרטורים) לזרם ישר.

רשת החשמל הארצית, המספקת זרם חשמלי, לצרכנים הביתיים ולתעשיה, מספקת זרם חילופין בתדירות של 50 מחזורים בשניה. זרם חילופין מופק באמצעות מכונות חשמל הקרויות אלטרנטורים.

כפי שנראה בפרקים הבאים, יעיל זרם חילופין יותר מזרם ישר והשימוש בו נוח יותר (בשלב זה נסתפק בהערות אלה).

עלינו לדעת, כמו כן, כי ניתן להפוך זרם חילופין לזרם ישר באמצעות מכשיר הקרוי מיישר-זרם. מכשיר זה מאפשר מעבר זרם חשמלי בכיוון אחד בלבד ומסיבה זו יזרום במעגל החשמלי, בו מצוי מיישר זרם, זרם פועם (ציור ב'16).



ציור ב׳16

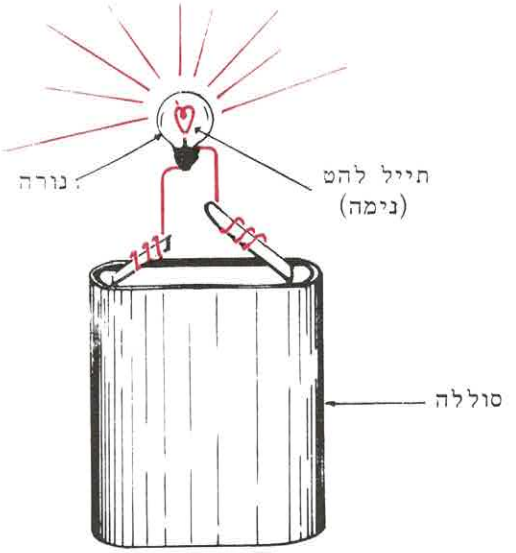
פעולות הזרם החשמלי

הזרם החשמלי יוצר תופעות שונות אותן אנו מנצלים לתועלתנו. הענין שיש לנו בזרם החשמלי הוא בתופעות השונות, המלוות אותו, ולא בעצם זרימת הזרם.

תופעת החימום

מחברים נורה חשמלית למקור מתח (ציור ב׳17). אם נגע בידנו בנורה נחוש שהיא פולטת חום. תופעה זו קרויה תופעת החימום של הזרם החשמלי, והיא מלווה כל זרימת זרם חשמלי דרך מוליך.

כמות החום הנפלטת אינה שווה בכל מוליך ומוליך ותלויה בגורמים שונים, אותם נכיר בפרק הבא.



ציור ב׳17

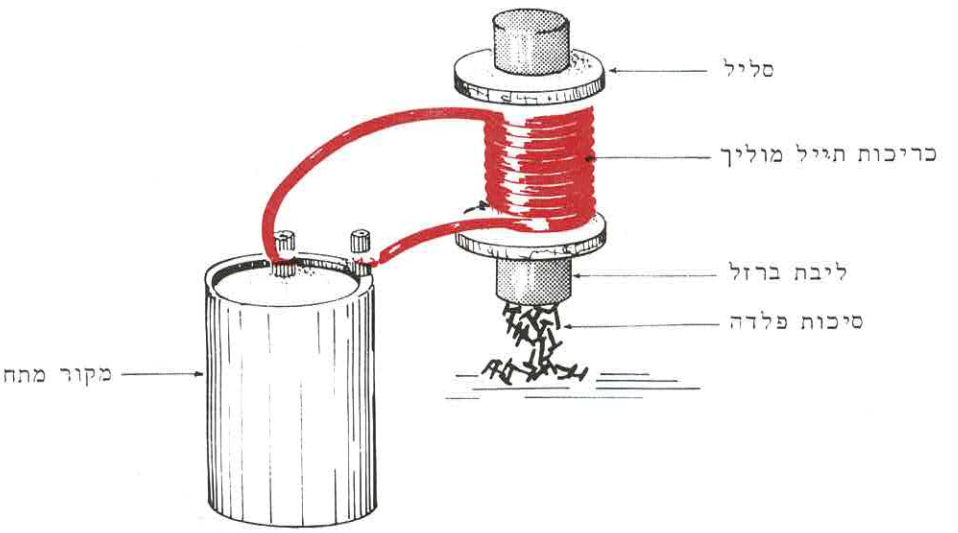
תופעה מישנית לתופעת החימום היא פליטת אור. כתוצאה מהחימום, מתלהט תייל הלהט, של הנורה, עד כדי פליטת אור.

תופעת החימום של הזרם החשמלי מנוצלת להפעלת מכשירי חימום חשמליים, כגון: תנורים, מגהצים, דוודים, קומקומים, נורות ועוד.

בדוגמאות שהבאנו, מנצלים את תופעת החימום לתועלתנו, אך כפי שראינו, כל זרימת זרם דרך מוליך מלווה פליטת חום, ומסיבה זו כל מכשיר או מתקן חשמלי פולט חום גם אם אין אנו מעונינים בכך. במקרים מסוימים, כאשר פליטת החום היא גדולה ומפריעה לפעולתו התקינה של המכשיר או המתקן, יש לדאוג לאמצעי אוורור או קירור מיוחדים.

התופעה האלקטרומגנטית

כשכורכים סליל בכריכות רבות של תייל מוליך, מכניסים ליבת ברזל לתוך הסליל ומחברים את קצות התייל המוליך למקור מתח, מתברר, שליבת הברזל מושכת אליה סיכות פלדה (ציור ב'18).



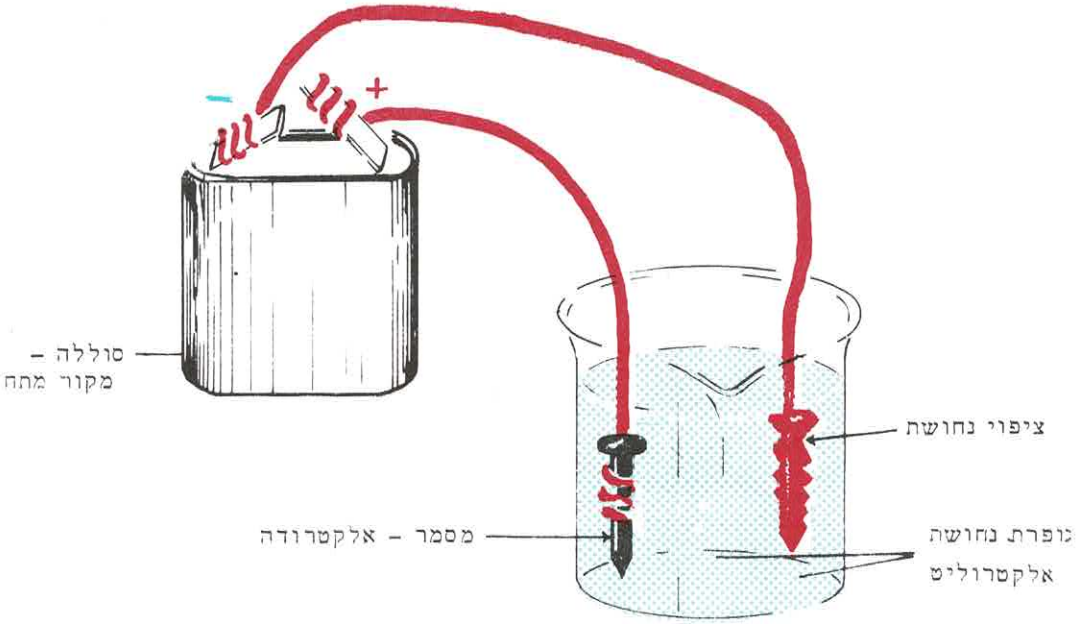
ציור ב'18

תופעה זו של הזרם החשמלי קרויה תופעה אלקטרומגנטית, הואיל והזרם החשמלי הזורם דרך הסליל גורם לכך, שליבת הברזל המונחת בתוך הסליל תהפוך למגנט ותמשוך אליה סיכות פלדה.

תופעה זו מנוצלת במכשירי חשמל הפועלים על עיקרון התופעה האלקטרומגנטית – כגון: פעמונים, אמפרמטרים, מנועי חשמל ועוד.

התופעה האלקטרוכימית

לוקחים כלי זכוכית, ממלאים אותו מים, וממיסים במים אלה מספר גבישים של חומר כימי הקרוי גופרת נחושת; מכניסים לתוך התמיסה שני מסמרים, המחוברים באמצעות תילים מוליכים להדקים של מקור מתח; כעבור זמן מבחינים כי המסמר המחובר להדק השלילי, של מקור המתח, מתכסה שכבת נחושת (ציור ב׳19).



ציור ב׳19

כאשר זרם חשמלי זורם דרך תייל מתכתי, הוא אינו גורם לשינוי תכונות החומר, ממנו עשוי התייל, אך כאשר זורם זרם חשמלי דרך תמיסות מסוימות הקרויות אלקטרו-ליטים, כגון תמיסת גופרת הנחושת, הוא מפריד את הנחושת, המתישבת על-גבי אחד

משני הגופים המתכתיים (א ל ק ט ר ו ד ו ת), המחובר להדק השלילי של מקור המתח.

המערכת, הכוללת את כלי הקבול, האלקטרוליט והאלקטרודות קרויה ת א-ה פ ר ד ה.

תופעה זו מנוצלת לציפוי מתכות, לזיקוק חשמלי של מתכות (הפקת מתכות טהורות), להפרדת תרכובות שונות, ולהפקת חומרים ויסודות שונים, כגון: חמצן, מימן ועוד.

נגדיר עתה הגדרה נוספת של יחידת עוצמת הזרם:

אמפר אחד הוא עוצמת הזרם המפרידה 1.118 מיליגרם כסף, מתוך תמיסת חנקת כסף, במשך שניה אחת.

ה ת ו פ ע ו ת ה פ י ס י ו ל ו ג י ו ת

השפעת הזרם החשמלי על גוף האדם היא מאד מסוכנת ועשויה לגרום אף למוות. הסכנה מתבטאת בכמה צורות:

א) בהשפעת הזרם על הלב ועל מחזור הדם בגופנו.

ב) בהשפעת הזרם על מערכת העצבים וגרימת התכווצויות.

ג) בכוויות קשות ומסוכנות.

מוות נגרם כתוצאה מזרימת זרם, בעל עוצמה העולה על ערך מסויים, דרך הלב. קצב פעולת הלב גובר, נעשה בלתי סדיר, מחזור הדם נפסק ובעקבות זאת עלול אדם למות תוך זמן קצר.

זרם חשמלי, בעל עוצמה חזקה מ-30 מיליאמפר, הזורם דרך גוף האדם נחשב כזרם מסוכן. אי לכך עלינו להימנע ממגע ישיר עם מעגלים או מתקנים חשמליים גלויים, אלא אם כן עושים זאת בהשגחת איש מוסמך.

ז כ ו ר ! זרם חשמלי עלול להיות קטלני ביותר. (ציור ב'20)

ציור ב'20

שאלות סיכום ובעיות לפרק ב

בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות, המצויות בסוף הספר כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ב׳1) זרם חשמלי הוא:

א) תנועת אלקטרונים חופשיים בחומר מוליך.

ב) תנועת אלקטרונים סביב לגרעין האטום.

ג) תנועת אטומים רצופה לאורכו של מוליך.

ד) תנועה מכוונת ומסודרת של אלקטרונים חופשיים לאורכו של מוליך.

ב׳2) מעגל חשמלי הוא:

א) מסלול של מוליכים ומבדדים דרכם זורם זרם חשמלי.

ב) מערכת הכוללת מקור מתח, קווים, מפסק וצרכן – המחוברים ביניהם.

ג) מערכת הכוללת מקור מתח, צרכן ומפסק.

ד) מסלול תנועתו הבלתי מכוונת של אלקטרון חופשי בחומר מוליך.

ב׳3) על מנת שתתקיים זרימת זרם במעגל חשמלי, הכרחי:

א) שהמפסק יהיה סגור.

ב) שהמפסק יהיה פתוח.

ג) שהמעגל החשמלי יהיה סגור.

ד) שיהיה בו צרכן.

ב׳4) תפקיד הקו במעגל חשמלי הוא:

א) לחבר את חלקי המעגל החשמלי, אחד לשני.

ב) לחסוך בזרם חשמלי.

ג) לתת מעבר לאלקטרונים, מהמקור אל הצרכן.

ד) למנוע אפשרות יציאת האלקטרונים מהמעגל החשמלי.

ב'5) תפקידו של מקור המתח, במעגל חשמלי, הוא:

א) להבטיח פעולה רציפה של המעגל.

ב) לספק זרם חשמלי למעגל.

ג) למנוע הפסקות בזרם החשמל.

ד) לאפשר קיום מעגל חשמלי סגור.

ב'6) צרכנים הם:

א) נחושת, כסף.

ב) נורה, מגהץ.

ג) נציץ, חרסינה.

ד) קו, מפסק.

ב'7) בהתיחסנו למעגל חשמלי - איזה מהמשפטים הבאים הוא הנכון?

א) כל האלקטרונים היוצאים מהמקור חוזרים אליו.

ב) חלק מהאלקטרונים הולכים לאבוד בקוים.

ג) האלקטרונים הופכים לחום בצרכן, ומסיבה זו אינם חוזרים למקור.

ד) רק האלקטרונים החופשיים הופכים לחום בצרכן.

ב'8) הזרם החשמלי זורם תמיד:

א) מההדק החיובי של מקור המתח אל ההדק השלילי דרך הצרכן.

ב) מההדק השלילי של מקור המתח אל ההדק החיובי דרך הצרכן.

ג) כיוון זרימת הזרם תלוי באופן חיבור הצרכן.

ד) כיוון זרימת הזרם תלוי באופן חיבור מקור המתח.

ב'9) ערצמת הזרם החשמלי מציינת:

א) שהמפסק סגור ובמעגל החשמלי זורם זרם.

ב) שבמעגל החשמלי מצוי מקור מתח.

ג) את כמות המטען החשמלי המצוי במעגל בפרק זמן של שניה אחת.

ד) את כמות המטען העובר, במשך שניה אחת, דרך חתך במעגל חשמלי.

ב'10) ערצמת הזרם החשמלי נמדדת ביחידות:

א) אמפר לשניה.

ב) אמפר שניה.

ג) קולון שניה.

ד) אמפר.

ב׳11) יחידת עוצמת הזרם "אמפר" מוגדרת כ-:

א) קולון אחד.
ב) קולון בשעה.
ג) קולון בשניה.
ד) מכפלת המטען בזמן.

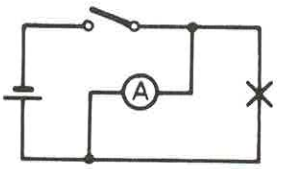
ב׳12) קולון אחד שווה ל-:

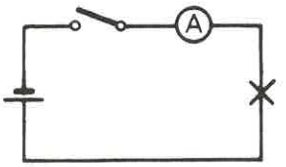
א) אמפר שעה.
ב) אמפר לשעה.
ג) אמפר שניה.
ד) אמפר לשניה.

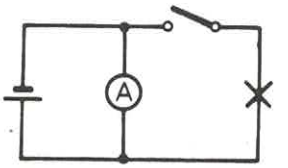
ב׳13) תפקידו של "אמפרמטר" הוא:

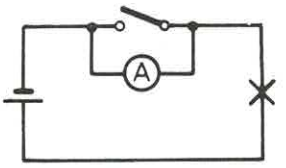
א) למדוד את המטען החשמלי העובר דרכו.
ב) למדוד את עוצמת הזרם העובר דרכו.
ג) לציין את מספר האמפרים אשר ניתן להזרים במעגל.
ד) להראות אם המעגל החשמלי פתוח או סגור.

ב׳14) כיצד תחבר אמפרמטר במעגל חשמלי?

א)


ג)


ב)


ד)


ב׳15) שני הסוגים היסודיים של זרם חשמלי הם:

א) זרם-ישר וזרם-חילופין.
ב) זרם-חזק וזרם-חלש.
ג) זרם-פועם וזרם-ישר.
ד) זרם-חילופין וזרם-פועם.

ב'16) זרם ישר הוא זה:

א) שאינו משנה את כיוון זרימתו.

ב) המשנה את כיוון זרימתו אך לא את עוצמתו.

ג) המשנה את כיוונו ועוצמתו.

ד) שאינו משנה את עוצמתו.

ב'17) זרם ישר רציף הוא זרם:

א) המשנה עוצמתו, אך לא את כיוונו.

ב) המשנה את כיוונו, אך לא את עוצמתו.

ג) המשנה את כיוונו ועוצמתו.

ד) אשר אינו משנה את כיוונו ואף לא את עוצמתו.

ב'18) זרם פועם הוא זרם:

א) המשנה עוצמתו במחזוריות, אך אינו משנה את כיוונו.

ב) אשר אינו משנה עוצמתו, אך משנה כיוונו באופן מחזורי.

ג) שאינו משנה את כיוונו או עוצמתו.

ד) המשנה עוצמתו וכיוונו במחזוריות.

ב'19) זרם חילופין הוא זרם:

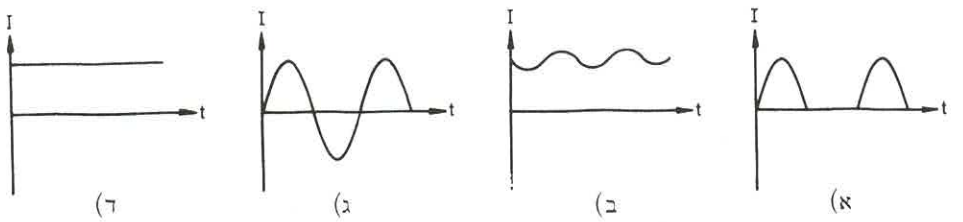
א) המשנה את עוצמתו, אך לא את כיוונו.

ב) המשנה את עוצמתו וכיוונו במחזוריות.

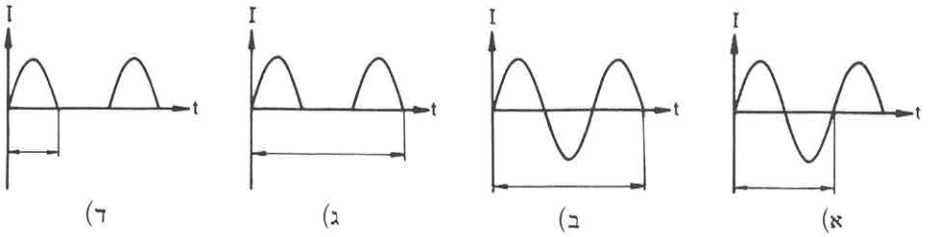
ג) המחליף כיוונו, אך לא עוצמתו.

ד) שאינו משנה עוצמתו וכיוונו.

ב'20) באיזה מהציורים הבאים מתואר זרם חילופין?



ב׳21) באיזה מהציורים הבאים מסומן משך המחזור בצורה נכונה?



ב׳22) תדירות מציינת:

א) את ההבחנה אם הזרם הוא זרם ישר או זרם חילופין.

ב) את מספר המחזורים של הזרם בשניה אחת.

ג) את הצורה הגרפית של זרם חילופין.

ד) את מספר הפעמים שהזרם משנה את כיוונו במשך שניה אחת.

ב׳23) ברשת הארצית שלנו זורם זרם:

א) ישר.
ב) פועם.
ג) חזק.
ד) חילופין.

ב׳24) תדירות הזרם ברשת הארצית שלנו היא:

א) 50 אמפר.
ב) 50 מחזורים בשניה.
ג) 100 מחזורים בשניה.
ד) 220 מחזורים בשניה.

ב׳25) סוללות מספקות זרם:

א) חילופין.
ב) פועם.
ג) ישר.
ד) לפי בחירתנו.

ב׳26) באמצעות מיישר זרם אנו הופכים:

א) זרם חילופין לזרם פועם.
ב) זרם חילופין לזרם ישר רציף.
ג) זרם פועם לזרם ישר.
ד) זרם ישר לזרם חילופין.

ב׳27) המכשירים הבאים פועלים על עקרון תופעת החימום:

א) מגהץ, נורה.
ב) סוללה, מצבר.
ג) פעמון, אמפרמטר.
ד) מד-חום.

28׳) אם מזרימים זרם חשמלי דרך סליל, עשוי מוליך, הכרוך על מוט ברזל:

א) המוט מתחמם.
ב) המוט הופך למגנט.
ג) דרך המוט יזרום זרם חשמלי.
ד) הזרם הישר הופך לזרם חילופין.

ב׳29) אמפרמטר, פעמון חשמלי ומנוע חשמלי פועלים על עקרון התופעה:

א) האלקטרוכימית.
ב) תופעת החימום.
ג) הפיסיולוגית.
ד) האלקטרומגנטית.

ב׳30) ציפוי חשמלי של מתכות מבוסס על:

א) התופעה האלקטרוכימית.
ב) תופעת החימום.
ג) התופעה הפיסיולוגית.
ד) התופעה האלקטרומגנטית.

ב׳31) יש לנהוג בזהירות מירבית ובתבונה בעת הטיפול במתקן חשמלי כי:

א) מתקני חשמל הם מאד עדינים ורגישים.
ב) קיימת סכנת חיים בטיפול במתקנים אלה.
ג) זרם חשמלי עלול להזיק לאנשים חלשים.
ד) עלולים להיות חלקים חמים מאד כתוצאה מתופעת החימום.

ב׳32) זרימת זרם חשמלי דרך גופו של אדם עלולה לגרום ל-:

א) הרגשה לא כל כך נעימה.
ב) הפסקת הפעולה של הצרכנים.
ג) כוויות, התכווצויות מסוכנות, ואפילו מוות.
ד) התחממות יתר של הגוף.

ב ע י ו ת

ב'1) מטען של 24 קולון עובר דרך חתך של מוליך, במעגל חשמלי, במשך 6 שניות. חשב את עוצמת הזרם.

ב'2) דרך תנור חימום חשמלי עובר מטען של 36 קולון במשך 4 שניות. חשב את עוצמת הזרם החשמלי הזורם דרך התנור.

ב'3) נורה חשמלית צורכת זרם, שעוצמתו 0.5 אמפר. איזה מטען עובר דרך הנורה במשך זמן של דקה אחת?

ב'4) אמפרמטר המחובר במעגל חשמלי מורה, שעוצמת הזרם במעגל היא 3 אמפר. איזה מטען עובר במעגל במשך שעה?

ב'5) מגהץ צורך זרם, שעוצמתו 3 אמפר. במשך כמה זמן הופעל המגהץ, אם המטען שעבר דרכו הוא 2700 קולון?

ב'6) דרך צרכן זרם זרם שעוצמתו 1 אמפר במשך 10 שניות. לאחר מכן העוצמה ירדה ל-500 מיליאמפר במשך 20 שניות ושוב עלתה ל-1 אמפר במשך 10 שניות. איזה מטען כולל עבר דרך הצרכן?

ב'7) מהי עוצמת הזרם, המפריד 2.236 מיליגרם כסף, מתוך תמיסת חנקת כסף במשך שניה אחת?

ב'8) מהו משך המחזור של זרם חילופין, אשר תדירותו 400 מחזורים בשניה?

ב'9) מהו משך המחזור של זרם תדירות הרשת בארץ?

ב'10) משך המחזור של זרם חילופין הוא 0.001 שניות. חשב את התדירות.

ב'11) זרם חילופין מחליף כיוונו 400 פעמים בשניה. חשב את התדירות ואת משך המחזור.

פרק ג - ההתנגדות החשמלית

הגדרת ההתנגדות החשמלית

כפי שראינו, עשירים החומרים המוליכים באלקטרונים חופשיים ומאפשרים מעבר קל לזרם החשמלי. לעומתם, מכילים החומרים המבדדים מספר מועט של אלקטרונים חופשיים ואלה אינם מאפשרים מעבר זרם חשמלי.

ככל שמספר האלקטרונים החופשיים בחומר גדול יותר, נחשב החומר כמוליך טוב יותר, וככל שמספרם קטן יותר נחשב החומר כמוליך פחות טוב.

ניתן לומר, כי בכל חומר מצוי גורם המתנגד למעבר זרם חשמלי. בחומרים מסויימים ההתנגדות למעבר זרם חשמלי היא נמוכה מאד והם קרויים מוליכים טובים, באחרים ההתנגדות למעבר זרם חשמלי גבוהה יותר והם קרויים מוליכים גרועים, ובאחרים ההתנגדות למעבר זרם חשמלי כה גבוהה, עד שאין בהם זרימת זרם חשמלי - והם קרויים מבדדים.

נגדיר עתה את המושג התנגדות חשמלית:

<u>התנגדות חשמלית היא תכונתו של חומר להתנגד לזרימת זרם חשמלי.</u>

ההתנגדות של מוליכי חשמל, אותה נוהגים לסמן באות (R), תלויה בארבעה גורמים:

1) אורך התייל המוליך.

2) שטח החתך של התייל המוליך.

3) סוג החומר ממנו עשוי התייל המוליך.

4) מידת החום (הטמפרטורה) של התייל המוליך.

בבוא הזמן נעסוק בכל אחד מארבעת גורמי ההתנגדות.

יחידת ההתנגדות החשמלית

יחידת ההתנגדות החשמלית המוסכמת היא "אום" וסימנה [Ω] .

"אום" אחד היא התנגדותו של עמוד כספית, באורך 106.3 ס"מ, ששטח חתכו 1 ממ"ר, בטמפרטורה של 0°C .

מכאן נובע, שאם ברשותנו תייל כלשהו, שהתנגדותו שוה להתנגדות של עמוד כספית באורך 106.3 ס"מ, בעל שטח חתך של 1 ממ"ר, ושניהם בטמפרטורה של 0°C - הרי התנגדות התייל היא אום אחד $R = 1\Omega$. אם התנגדות התייל כפולה מהתנגדות עמוד הכספית הנדון, תהיה התנגדותו $R = 2\Omega$.

יחידת התנגדות גדולה יותר היא "ק י ל ו א ו ם" השווה 1000 אום:

$$1K\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

ויחידה גדולה מזו היא "מ ג א ו ם" השווה 1000000 אום:

$$1M\Omega = 1000000\Omega = 10^6\Omega$$

תלות ההתנגדות בממדי המוליך

באופן נסיוני הוכח, שככל שהמוליך ארוך יותר, התנגדותו גבוהה יותר וככל ששטח החתך שלו גדול יותר, התנגדותו נמוכה יותר. הווה אומר, שההתנגדות (R) של תייל מוליך נמצאת ביחס ישר לאורכו (ℓ) וביחס הפוך לשטח החתך שלו (A) .

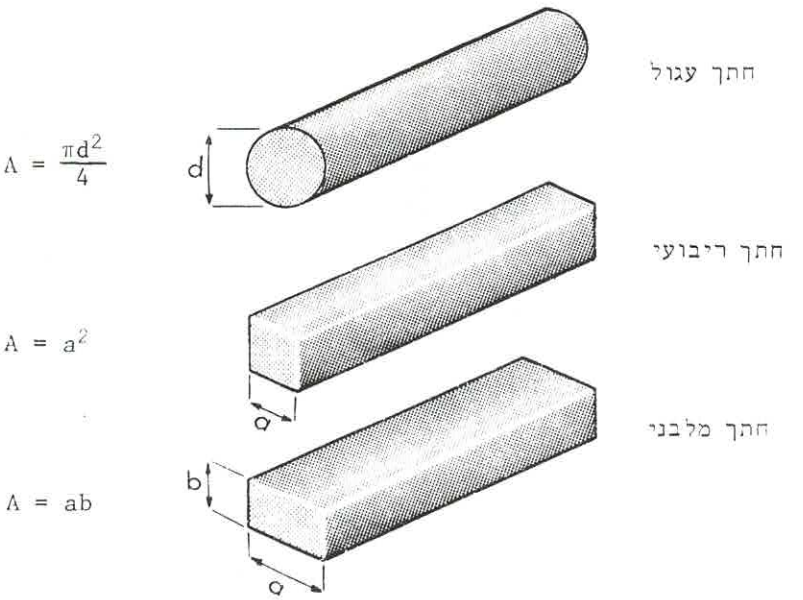
ככל שהתייל המוליך ארוך יותר, על האלקטרונים לעבור דרך ארוכה יותר ומכאן נובעת התנגדותו הגבוהה יותר לזרימת הזרם החשמלי.

לעומת זאת, ככל ששטח החתך של התייל גדול יותר, מעבר הזרם קל יותר, ולכן ההתנגדות נמוכה יותר. דומה הדבר לזרימת מים בצינור; ככל שאורך הצינור גדול יותר ושטח החתך של הצינור קטן יותר, כן יקשה למים לזרום דרכו.

אם כן, תילים ארוכים ודקים יהיו בעלי התנגדות גבוהה ותילים קצרים ועבים יהיו בעלי התנגדות נמוכה.

חתך התילים הוא עגול, על פי רוב (ציור ג'1). את שטח החתך של מוליך עגול מחשבים באמצעות הנוסחא $A = \pi d^2/4$, כאשר האות (d) מסמלת את קוטר המוליך.

יש לשים לב לכך, שאם מגדילים כפליים את קוטרו של תייל מוליך, שטח חתכו יגדל פי ארבעה, וכתוצאה מכך תקטן התנגדותו פי ארבעה, הואיל והתנגדותו של מוליך נמצאת ביחס הפוך לשטח חתכו.



ציור ג' 1

ההתנגדות הסגולית

נתונים ארבעה תילים מוליכים, שווים באורכם ובשטח החתך שלהם, וארבעתם מצויים באותה טמפרטורה. אחד התילים עשוי כסף, השני עשוי נחושת, השלישי אלומיניום והרביעי זהב. למרות הממדים השווים תהיה לכל תייל התנגדות אחרת, ומכאן נובעת המסקנה, שההתנגדות תלויה גם בסוג החומר.

כפי שראינו בפרק א', היסוד "כסף" עשיר ביותר באלקטרונים חופשיים ומסיבה זו הוא נחשב למוליך הטוב ביותר, והתנגדותו למעבר זרם חשמלי היא נמוכה ביותר. לנחושת קצת פחות אלקטרונים חופשיים ומסיבה זו התנגדותה למעבר זרם חשמלי גבוהה קצת מהתנגדות הכסף. גם למוליכי האלומיניום והזהב התנגדות שונה.

הואיל ולכל חומר וחומר התנגדות שונה, עלינו להעמיד זה מול זה דגמים שווים, של חומרים שונים, כדי שנוכל להשוות ביניהם.

כיחידת מדה אחידה בחרו בתייל, שאורכו מטר אחד ושטח חתכו ממ"ר אחד; להתנגדותו של תייל כזה נוהגים לקרוא ה ת נ ג ד ו ת ס ג ו ל י ת. בטבלאות מסוימות מגדירים את ההתנגדות הסגולית בטמפרטורה של 0°C ובאחרות בטמפרטורה של 20°C.

<u>התנגדותו הסגולית, של חומר מסוים היא ההתנגדות של תייל מוליך, העשוי מאותו חומר, שאורכו 1 מ׳ ושטח חתכו 1 ממ"ר, בטמפרטורה 20°C .</u>

הסימן המוסכם של התנגדות סגולית הוא (ρ) ויחידת ההתנגדות הסגולית היא:

$$\left[\frac{\Omega \times mm^2}{m}\right]$$

לשם דוגמא: אם ברשותנו תייל, העשוי חומר כלשהו, שאורכו 1 מ׳, שטח חתכו 1 ממ"ר וההתנגדות שלו בטמפרטורה 20°C היא 0.5 אום, התנגדותו הסגולית היא:

$$\rho = 0.5 \frac{\Omega \times mm^2}{m}$$

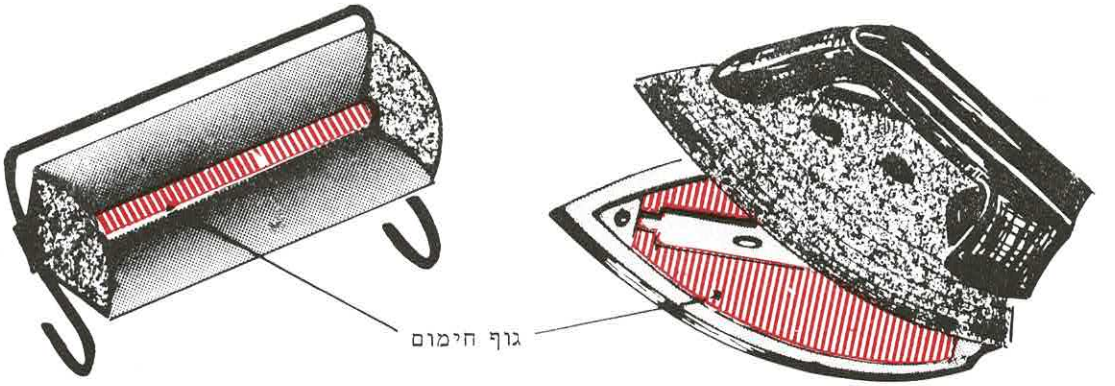
בעמוד 63 מצוי לוח בו רשומה ההתנגדות הסגולית של חומרים שונים בטמפרטורה 20°C.

כסף, נחושת, אלומיניום, אבץ וברזל הם יסודות. לעומתם - פליז, קונסטנטן, כרום-ניקל, ניקלין ומנגנין הן מתכות המורכבות מתערובת יסודות מתכתיים וקרויות ס ג ס ו ג ו ת.

אם נתבונן בלוח ההתנגדות הסגולית שבעמוד 63 , נראה כי לכסף ההתנגדות הסגולית הנמוכה ביותר, אך מחירו גבוה, ומסיבה זו ממעטים להשתמש בו בתעשיית החשמל. לעומת זאת הנחושת, שהתנגדותה הסגולית נמוכה גם כן, שימושית מאד בתעשיית החשמל, הואיל ומחירה נמוך יחסית. הנחושת שימושית בתעשיית מכונות החשמל, מנחושת מייצרים גם תילים המשמשים להתקנת קווים למעגלים חשמליים.

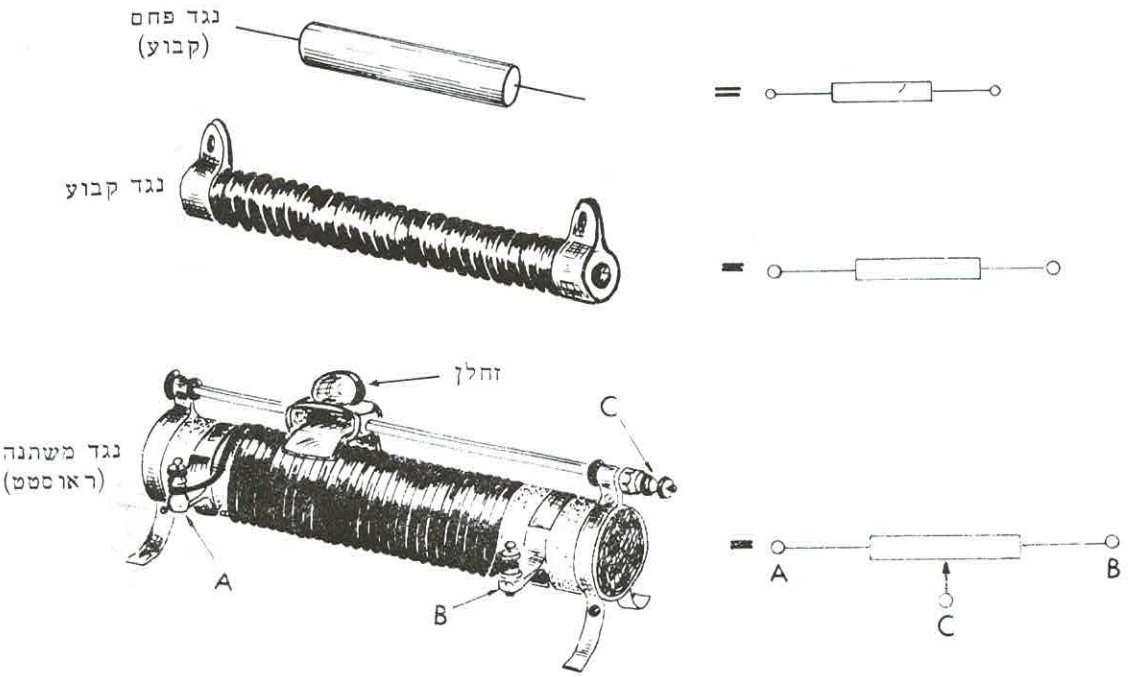
לסגסוגות ניקלין וכרום-ניקל התנגדות סגולית גבוהה, והן משמשות לייצור ג ו פ י ח י מ ו ם למכשירי חימום כגון תנורים, מגהצים וכו׳ (ציור ג׳2).

שימוש נוסף לסגסוגות הכרום-ניקל והניקלין הוא ייצור נ ג ד י ם שונים על-ידי ליפוף תייל על גבי מוט, העשוי חומר מבדד. בנגדים משתמשים כאשר מעונינים לכלול התנגדות במעגל חשמלי.



ציור ג'2

נגד עשוי להיות קבוע או משתנה (ציור ג'3).



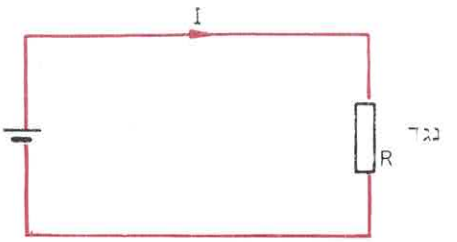
ציור ג'3

כפי שראינו, התנגדותו של מוליך תלויה באורכו. באמצעות הזחלן, העשוי להחליק על גבי התייל הכרוך בנגד המשתנה, הקרוי ראוסטט, אנו משנים את אורך התייל, המהווה חלק מהמעגל החשמלי הסגור, ועל-ידי כך משנים כמובן את ההתנגדות.

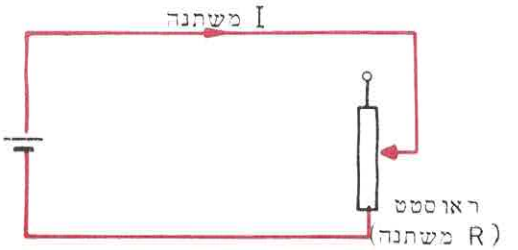
אם נתבונן בציור ג'3 נראה, כי הזחלן נמצא במצב מסוים, ועל-ידי כך מחלק את התנגדות הראוסטט באופן שבחלקה תימצא בין הנקודות AC ובחלקה בין הנקודות BC .

סוג אחר של נגדים קבועים הם נגדי פחם, אותם מייצרים על-ידי דחיסת אבקת פחם למוטות.

בציור ג'4 מתואר מעגל חשמלי, אשר הצרכן שלו הוא נגד קבוע. ככל שהתנגדות הנגד (R) גבוהה יותר, הזרם (I) , אשר יזרום במעגל יהיה חלש יותר.



ציור ג'4



ציור ג'5

בציור ג'5 מתואר מעגל חשמלי, אשר הצרכן שלו הוא ראוסטט (נגד משתנה). באמצעות הראוסטט ניתן לשנות את ההתנגדות במעגל החשמלי ועל-ידי-כך תשתנה גם עוצמת הזרם הזורם במעגל. ככל שנגדיל את ההתנגדות, יזרום זרם חלש יותר, וככל שנקטין.את ההתנגדות יזרום זרם חזק יותר.

חישוב התנגדותו של מוליך

כפי שראינו, התנגדותו של מוליך תלויה בחומר, ממנו הוא עשוי, באורכו, ובשטח החתך שלו.

ההתנגדות (R) של מוליך נמצאת ביחס ישר להתנגדות הסגולית (ρ) הואיל וככל שהתנגדותו הסגולית של החומר, ממנו עשוי המוליך, גבוהה יותר - כן תהיה גבוהה יותר גם התנגדותו.

ראינו, כמו כן, שהתנגדותו (R) של מוליך נמצאת ביחס ישר לאורכו (ℓ) וביחס הפוך לשטח החתך שלו (A) . אם כן, נוכל לרשום:

$$\boxed{R = \rho\frac{\ell}{A}}$$

R : התנגדות המוליך ביחידות [Ω]

ρ : ההתנגדות הסגולית ביחידות [Ω×mm²/m]

ℓ : אורך המוליך ביחידות [m]

A : שטח החתך של המוליך ביחידות [mm²]

כדי לוודא אם אמנם השתמשנו ביחידות מתאימות, עלינו להציב בנוסחא האחרונה את היחידות המתאימות במקום כל כינוי וכינוי, לצמצם את אשר ניתן לצמצום ולבדוק, אם אמנם מתקבלות יחידות זהות בשני צדי השויון.

$$R = \rho\frac{\ell}{A} \quad ; \quad [\Omega] = \left[\frac{\Omega \times mm^2}{m}\right] \times \frac{[m]}{[mm^2]}$$

ובאמת לאחר הצימצום התוצאה היא: $[\Omega] = [\Omega]$

באמצעות הנוסחא הנזכרת למעלה, ניתן לחשב את התנגדותו של מוליך כאשר ידועים: ההתנגדות הסגולית, אורך המוליך, ושטח החתך שלו.

דוגמא: חשב את התנגדותו של מוליך נחושת, שאורכו 500 מ' ושטח חתכו 1 ממ"ר, בטמפרטורה 20°C.

לפי הלוח שבעמוד 63: $\rho_{20} = 0.018\ \frac{\Omega\times mm^2}{m}$ לכן:

$$R = \rho\frac{\ell}{A} = \frac{0.018\times 500}{1} = 9\Omega$$

על-ידי שינוי נושא הנוסחא $R = \rho\frac{\ell}{A}$ ניתן להפיק נוסחא לחישוב התנגדותו הסגולית של החומר, ממנו עשוי מוליך, כאשר ידועים התנגדותו, אורכו ושטח החתך שלו:

$$\boxed{\rho = \frac{RA}{\ell}}$$

דוגמא: חשב את התנגדותו הסגולית של החומר, ממנו עשוי תייל מוליך שהתנגדותו 14 אום, אורכו 1000 מטר ושטח החתך שלו 2 ממ"ר (אם אין הטמפרטורה נזכרת, הכוונה ל-20°C).

$$\rho = \frac{RA}{\ell} = \frac{14 \times 2}{1000} = 0.028 \ \frac{\Omega \times mm^2}{m}$$

אם נעיין בלוח ההתנגדות הסגולית שבעמוד 63 נראה, כי החומר היא אלומיניום.
באופן דומה, נוכל להפיק נוסחא לחישוב אורך המוליך, כאשר ידועים התנגדותו, התנגדותו הסגולית, ושטח החתך שלו.

$$\boxed{\ell = \frac{RA}{\rho}}$$

דוגמא: מה אורכו של תייל של גוף חימום העשוי כרום-ניקל, אם התנגדותו 22 אום, ושטח החתך שלו 0.5 ממ"ר.

לפי הלוח $\rho_{20} = 1 \ \frac{\Omega \times mm^2}{m}$ לכן:

$$\ell = \frac{RA}{\rho} = \frac{22 \times 0.5}{1} = 11m$$

האפשרות האחרונה היא לחשב את שטח החתך של מוליך, כאשר נתונים התנגדותו, התנגדותו הסגולית ואורכו. נשנה את נושא הנוסחא ונקבל:

$$\boxed{A = \frac{\rho \ell}{R}}$$

דוגמא: חשב את שטח החתך של תייל קונסטנטן, אם ידוע, שאורכו 10 מטר, והתנגדותו 5 אום.

לפי הלוח $\rho_{20} = 0.5 \ \frac{\Omega \times mm^2}{m}$ לכן:

$$A = \frac{\rho \ell}{R} = \frac{10 \times 0.5}{5} = 1 \ mm^2$$

תלות ההתנגדות בטמפרטורה

כפי שראינו, הגורמים המשפיעים על התנגדותו של מוליך הם:

א) אורך המוליך (ℓ)

ב) שטח החתך (A)

ג) ההתנגדות הסגולית (ρ)

ד) הטמפרטורה (Θ)

באופן נסיוני נקבע, כי שינוי הטמפרטורה (Θ) , של החומר, גורם לשינוי התנגדותו הסגולית.

עם עליית הטמפרטורה עולה התנגדות המתכות. לעומת זאת, התנגדות הפחם, חומרי הבידוד והתמיסות (אלקטרוליטים) יורדת.

בשם מ ק ד ם ה ט מ פ ר ט ו ר ה של ההתנגדות אנו מכנים את שינוי ההתנגדות לכל אום, כאשר הטמפרטורה משתנה במעלה אחת צלסיוס.

הסימון המקובל של מקדם הטמפרטורה הוא (α) והיחידה של מקדם הטמפרטורה היא

$$\left[\frac{\Omega}{\Omega \times {}^\circ C}\right] \quad \text{או} \quad \left[\frac{1}{{}^\circ C}\right]$$

לכל חומר וחומר מקדם טמפרטורה (α) משלו. בלוח שבעמוד 63 נמצא את מקדם הטמפרטורה של כמה מתכות. אם נעיין בלוח נראה, כי לסגסוגות מקדם טמפרטורה נמוך יותר מזה של המתכות הטהורות, המרכיבות את הסגסוגת. למשל, ל פ ל י ז שהוא סגסוגת של נחושת, מקדם טמפרטורה נמוך מזה של הנחושת. באופן דומה, מקדם הטמפרטורה של הכרום-ניקל נמוך מזה של הניקל.

לסגסוגות מ נ ג נ י ן ו ק ו נ ס ט נ ט ן מקדם טמפרטורה $\alpha = o$, הואיל והתנגדותן הסגולית של סגסוגות אלה קבועה ואינה מושפעת על-ידי הטמפרטורה. משתמשים בסגסוגות אלה במכשירים שונים, שהתנגדותם חייבת להיות קבועה ואינה צריכה להשתנות עם שינוי הטמפרטורה.

מקדם הטמפרטורה של ההתנגדות משתנה במידת מה עם שינוי הטמפרטורה. בטמפרטורה $0°C$ מקדם הטמפרטורה של נחושת הוא $\alpha_o = 0.0043 \frac{1}{°C}$.

בטמפרטורה $20°C$ - $\alpha_{20} = 0.0039 \frac{1}{°C}$ ובטמפרטורה $40°C$ - $\alpha_{40} = 0.0036 \frac{1}{°C}$.

מקדמי הטמפרטורה של ההתנגדות, של מתכות שונות, המופיעים בלח , מתאימים לטמפרטורה 20°C . אנו ננהג להשתמש במקדמים אלה בכל מקרה כאשר הטמפרטורה ההתחלתית היא 20°C . טמפרטורה זו קרויה **ט מ פ ר ט ו ר ת מ ו צ א.**

נניח לרגע שברשותנו תייל מוליך, שהתנגדותו הסגולית בטמפרטורה 20°C היא $\rho_{20} = 1\ \frac{\Omega\times mm^2}{m}$. הואיל והשינוי, לכל אום, כאשר משנים את הטמפרטורה ב-1°C , הוא (α_{20})- הרי שעם שינוי הטמפרטורה בשיעור $\Delta\theta$, יהיה שינוי התנגדות בשעור $\alpha_{20}\ \Delta\theta$. ואם ההתנגדות הסגולית לא תהיה אום אחד, אלא כל התנגדות סגולית אחרת ρ_{20} , יהיה השינוי בהתנגרות $\rho_{20}\ \alpha_{20}\ \Delta\theta$.

אם כן, ההתנגדות הסגולית ρ_θ בטמפרטורה θ °C , תהיה שווה להתנגדות הסגולית ההתחלתית ρ_{20} בתוספת התנגדות בשיעור $\rho_{20}\ \alpha_{20}\ \Delta\theta$

$$\rho_\theta = \rho_{20} + \rho_{20}\ \alpha_{20}\ \Delta\theta$$

נפרק לגורמים את הביטוי שמימין לסמן השויון ונקבל:

$$\boxed{\rho_\theta = \rho_{20}\ (1 + \alpha_{20}\ \Delta\theta)}$$

כאשר: $\Delta\theta = \theta - 20°$

דוגמא: חשב את ההתנגדות הסגולית של פליז בטמפרטורה 120°C .

לפי הלוח: $\rho_{20} = 0.07\frac{\Omega\times mm^2}{m}$ $\alpha_{20} = 0.002\ \frac{1}{°C}$

השינוי בטמפרטורה הוא: $\Delta\theta = 120-20 = 100°C$

לכן: $\rho_\theta = \rho_{20}\ (1 + \alpha\Delta\theta) = 0.07\ (1 + 0.002 \times 100) =$

$= 0.07\ (1 + 0.2) = 0.07 \times 1.2 = 0.084\ \frac{\Omega\times mm^2}{m}$

הוא הדין לגבי התנגדות. לכן נוכל לרשום:

$$R_\theta = R_{20}\ (1 + \alpha_{20}\ \Delta\theta)$$

כאשר: $\Delta\theta = \theta - 20°$

דוגמא: התנגדותו של גוף חימום, עשוי כרום-ניקל, בטמפרטורה 20°C היא 50Ω .
מה תהיה התנגדותו, כאשר הוא יתחמם והטמפרטורה שלו תגיע ל- 120°C ?

$$\Delta\theta = 120 - 20 = 100°C$$

לפי הלוח שבעמוד 63 $\alpha_{20} = 0.003 \frac{1}{°C}$

לכן:

$$R_{120} = R_{20}\ (1 + \alpha_{20} \times 100) = 50\ (1 + 0.3) = 50 \times 1.3 = 65\Omega$$

דוגמא: התנגדותו של גוף חימום, עשוי כרום-ניקל, בטמפרטורה 220°C היא 100 אום. חשב את ההתנגדות של גוף החימום בטמפרטורה 20°C

כשם שראינו הנוסחא היא: $R_\theta = R_{20}\ (1 + \alpha_{20}\ \Delta\theta)$

נשנה את נושא הנוסחא ונקבל: $R_{20} = \frac{R_\theta}{1 + \alpha_{20}\ \Delta\theta}$

נציב את הנתונים בנוסחא ונקבל: $R_{20} = \frac{100}{1+0.003\times200} = \frac{100}{1.6} = 62.5\Omega$

ניתן לנצל את תופעות שינוי ההתנגדות, כתוצאה משינוי הטמפרטורה, לצורך מדידת טמפרטורה באמצעים חשמליים.

כדי להסביר זאת, נשנה את נושא הנוסחא האחרונה ונבטא את $\Delta\theta$:

$$R_\theta = R_{20}\ (1 + \alpha_{20}\ \Delta\theta)$$

$$1 + \alpha_{20}\ \Delta\theta = \frac{R_\theta}{R_{20}}$$

$$\alpha_{20}\ \Delta\theta = \frac{R_\theta}{R_{20}} - 1$$

$$\Delta\theta = \frac{R_\theta/R_{20} - 1}{\alpha_{20}}$$

$$\boxed{\Delta\theta = \frac{R_\theta - R_{20}}{R_{20}\ \alpha_{20}}}$$

כדי לחשב את שינוי הטמפרטורה $\Delta\theta$ יש למדוד את ההתנגדות R_θ באמצעים, שעל אודותם נלמד בספרנו זה, ולהציב את הערך שקיבלנו בתוך הנוסחא.

דוגמא: התנגדותו של תייל ניקל בטמפרטורה $20°C$ היא 30 אום. בכמה $°C$ עלתה הטמפרטורה, אם התנגדותו של התייל עלתה ל-39 אום?

לפי הלוח שבעמוד 63 $\alpha_{20} = 0.006 \frac{1}{°C}$

לכן: $$\Delta\theta = \frac{R_\theta - R_{20}}{R_{20}\ \alpha_{20}} = \frac{39-30}{30\times 0.006} = \frac{9}{0.18} = 50°C$$

עסקנו עד כה במקרים, בהם טמפרטורת המוצא היא $20°C$. הנוסחא בצורתה הכללית ביותר, אשר נתן להעזר בה גם כאשר טמפרטורת המוצא אינה $20°C$, תהיה:

$$\boxed{R_{\theta_2} = R_{\theta_1}\ (1 + \alpha_{\theta_1}\ \Delta\theta)}$$

כאשר: $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

דוגמא: התנגדותו של מוליך נחושת בטמפרטורה $0°C$ היא 10Ω.
חשב את ההתנגדות של המוליך בטמפרטורה $60°C$, אם ידוע,
שמקדם הטמפרטורה של הנחושת ב- $0°C$ הוא $\alpha_\circ = 0.0043 \frac{1}{°C}$.

$$R_{60} = R_\circ\ (1 + \alpha_\circ\ \Delta\theta) = 10\ (1 + 0.0043\times 60) =$$
$$= 10 \times 1.258 = 12.58\Omega$$

כפי שהזכרנו, ההתנגדות של פחם והתמיסות יורדת עם עליית הטמפרטורה, ומסיבה זו, מקדמי הטמפרטורה שלהם קרויים: מ ק ד מ י ט מ פ ר ט ו ר ה ש ל י ל י י ם.
מקדם הטמפרטורה של פחם הוא $\alpha_{20} = -0.0005 \frac{1}{°C}$, ואם נציב ערך זה בתוך הנוסחא האחרונה, ישתנה הסמן והערך $\alpha\Delta\theta$ יהיה שלילי.

דוגמא: התנגדותו של מוט פחם בטמפרטורה $20°C$ היא 60 אום.
חשב את התנגדות המוט בטמפרטורה $120°C$.
כפי שראינו $\alpha_{20}=-0.0005 \frac{1}{°C}$ לכן:

$$R_{120} = R_{20}\ (1 + \alpha_{20}\times 100) = 60\ [1+(-0.0005)\times 100] =$$
$$= 60\ (1 - 0.05) = 60 \times 0.95 = 57\Omega$$

ראינו שלמתכות מקדם טמפרטורה חיובי, ונוהגים להשתמש בנוסחא $R_{\theta_2}=R_{\theta_1}(1+\alpha\Delta\theta)$ כאשר $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$.

במקרים, בהם θ_2 קטן מ- θ_1 (ירידת טמפרטורה), הביטוי $\Delta\theta$ יהיה שלילי, והנוסחא תקבל את הצורה:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1}(1 - \alpha\Delta\theta)$$

דוגמא: התנגדותו של תייל נחושת בטמפרטורה 20°C היא 10Ω.

מה תהיה התנגדותו בטמפרטורה 40°C - ?

במקרה זה השינוי יהיה $\Delta\theta = -60°C$ לכן:

$$R_{-40} = R_{20}(1 - 0.0039 \times 60) = 10(1 - 0.234) =$$
$$= 10 \times 0.766 = 7.66\Omega$$

ההתנגדות הסגולית של מתכות ומקדם הטמפרטורה של ההתנגדות ב- 20°C

החומר	ההתנגדות הסגולית (ρ_{20})	מקדם הטמפרטורה (α_{20})
	$\frac{\Omega \times mm^2}{m}$	$\frac{1}{°C}$
כסף	0.016	0.0038
נחושת	0.018	0.0039
אלומיניום	0.028	0.0038
אבץ	0.065	0.0037
ברזל	0.120	0.0050
בדיל	0.115	0.0042
עופרת	0.220	0.0041
ניקל	0.078	0.0060
פלטינה	0.100	0.0030
טונגסטן	0.055	0.0045
כרום-ניקל	1.000	0.0030
ניקלין	0.400	0.0002
מנגנין	0.400	0
קונסטנטן	0.500	0
פליז	0.070	0.0020

המוליכות החשמלית

בשם מ ו ל י כ ו ת אנו מכנים את תכונת החומר להוליך זרם חשמלי. למוליכים טובים, מוליכות גבוהה ולמוליכים גרועים, מוליכות נמוכה.

ניתן לומר, כי המוליכות, אותה נסמן באות (G) אינה אלא היפוכה של ההתנגדות (R).

הואיל ויחידת ההתנגדות היא $[\Omega]$, תהיה יחידת המוליכות $\left[\frac{1}{\Omega}\right]$, וכינויה "מהו".

$$\boxed{G = \frac{1}{R}}$$

G : המוליכות ביחידות "מהו" $\left[\frac{1}{\Omega}\right]$

R : ההתנגדות ביחידות "אום" $[\Omega]$

דוגמא: חשב את המוליכות של מוליך, אשר התנגדותו 5 אום.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5} = 0.2\ \frac{1}{\Omega}$$

ה מ ו ל י כ ו ת ה ס ג ו ל י ת

המוליכות הסגולית, של חומר, אותה נסמן באות (γ), אינה אלא היפוכה של ההתנגדות הסגולית, ויחידתה תהיה הפוכה לזו של ההתנגדות הסגולית:

$$\left[\gamma = \frac{1}{\rho}\right] \qquad \left[\rho = \frac{1}{\gamma}\right]$$

ρ : ההתנגדות הסגולית ביחידות $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$

γ : המוליכות הסגולית ביחידות $\frac{m}{\Omega \times mm^2}$

דוגמא: ההתנגדות הסגולית של מנגנין היא $0.4\ \frac{\Omega \times mm^2}{m}$. חשב את המוליכות הסגולית של חומר זה.

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0.4} = 2.5\ \frac{m}{\Omega \times mm^2}$$

בדומה להתנגדות (R) , של תייל מוליך, תלויה המוליכות (G) בגורמים הבאים:

1) אורך התייל המוליך.

2) שטח החתך של התייל המוליך.

3) סוג החומר ממנו עשוי התייל המוליך.

4) מידת החום של התייל המוליך.

המוליכות של תייל, נמצאת ביחס ישר לשטח החתך ולמוליכות הסגולית, וביחס הפוך לאורכו. עם עלית הטמפרטורה יורדת מוליכותו של התייל.

אם נתיחס להתנגדות התייל, נוכל לומר, כי התנגדותו נמצאת ביחס ישר לאורכו וביחס הפוך למוליכות הסגולית ולשטח החתך:

$$R = \frac{1}{\gamma} \frac{\ell}{A}$$

נסתפק, במסגרת ספרנו, בדיון קצר זה בנושא המוליכות החשמלית.

שאלות סיכום ובעיות לפרק ג

בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות, המצויות בסוף הספר, כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ג'1) התנגדות חשמלית היא:

א) הגורם, המאיט את מהירות התנועה של האלקטרונים.

ב) הנטיה של החומר להתנגד לזרימת הזרם.

ג) הגורם המאלץ את האלקטרונים לנוע.

ד) הנטיה של החומר לאפשר זרימת זרם דרך מוליך.

ג'2) הגדרת יחידת ההתנגדות "אום" היא:

א) התנגדותו של מוליך, אשר דרכו ניתן להזרים זרם בשיעור אמפר אחד.

ב) התנגדותו של מוליך באורך מטר אחד ושטח חתך ממ"ר אחד, בטמפרטורה $0°C$.

ג) התנגדותו של עמוד כספית באורך 106.3 ס"מ, שחתכו 1 ממ"ר, בטמפרטורה $0°C$.

ד) התנגדותו של עמוד כספית באורך 1 מ', שחתכו 1 ממ"ר, בטמפרטורה $0°C$.

ג'3) ככל שנגדיל את אורכו של מוליך:

א) תקטן התנגדותו.

ב) תגדל התנגדותו.

ג) לא תשתנה התנגדותו.

ד) תלוי מאיזה חומר עשוי המוליך.

ג'4) ככל שנגדיל את שטח חתכו של מוליך:

א) כן תקטן ההתנגדות.

ב) כן תגדל ההתנגדות.

ג) התנגדותו לא תשתנה.

ד) תלוי מאיזה חומר עשוי המוליך.

ג'5) **אילו תילים הם בעלי התנגדות נמוכה?**

א) ארוכים ודקים.
ב) ארוכים ועבים.
ג) קצרים ודקים.
ד) קצרים ועבים.

ג'6) **אילו תילים הם בעלי התנגדות גבוהה?**

א) ארוכים ודקים.
ב) ארוכים ועבים.
ג) קצרים ודקים.
ד) קצרים ועבים.

ג'7) **ההתנגדות הסגולית של חומר מסוים מציינת את:**

א) התנגדותו של מוליך נתון, העשוי מאותו החומר, בטמפרטורה 20°C .
ב) הקשר בין התנגדות החומר למשקלו הסגולי.
ג) התנגדותו של מוליך באורך 1 מ' ושטח חתך 1 ממ"ר, העשוי מאותו החומר, בטמפרטורה 20°C .
ד) הקשר הקיים בין ההתנגדות לעוצמת הזרם.

ג'8) **ידיעת התנגדותם הסגולית של חומרים שונים מאפשרת:**

א) להשוות את התנגדותם לזרימת זרם חשמלי.
ב) לדעת את תלות ההתנגדות בממדי המוליך.
ג) לחשב את הזרם שיזרום במוליך אם נחברו למקור מתח.
ד) להכין טבלה מתאימה.

ג'9) **מוליך טוב הוא חומר:**

א) בעל התנגדות סגולית גבוהה.
ב) בעל התנגדות סגולית נמוכה.
ג) שהתנגדותו הסגולית אינה משתנה.
ד) כגון נייר, גומי, נציץ ופלסטיק.

ג'10) מוליך גרוע הוא חומר:

א) שאינו נותן מעבר לאלקטרונים חופשיים.

ב) שאין משתמשים בו בתעשיית החשמל.

ג) שמשתמשים בו להתקנת קווים של מעגלים חשמליים.

ד) בעל התנגדות גבוהה יחסית.

ג'11) בקווי חשמל משתמשים בנחושת כי:

א) נחושת מופקת במפעלי תמנע בנגב.

ב) הנחושת מצויה בטבע בכמויות גדולות.

ג) הנחושת היא מוליך טוב ומחירה נמוך יחסית.

ד) צבעה אדמדם וניתן להבחין בקווים מרחוק.

ג'12) התנגדותו של מוליך תלויה ב-:

א) טיב המוליך, אורכו ושטח החתך שלו.

ב) התנגדותו הסגולית, אורכו ושטח החתך שלו.

ג) משקלו הסגולי, אורכו ושטח החתך שלו.

ד) ההתנגדות היא קבועה ואינה תלויה בשום גורם.

ג'13) התנגדותו של מוליך:

א) תלויה באורכו, אך לא בשטח חתכו.

ב) נמצאת ביחס הפוך לאורך וביחס ישר לשטח החתך.

ג) נמצאת ביחס הפוך לאורך ולשטח החתך.

ד) נמצאת ביחס ישר לאורך וביחס הפוך לשטח החתך.

ג'14) אם נגדיל כפליים את אורכו של תייל מוליך:

א) תגדל התנגדותו עד גבול מסויים.

ב) תגדל גם זרימת הזרם דרכו.

ג) תגדל גם התנגדותו כפליים.

ד) תקטן התנגדותו פי שניים.

ג'15) התנגדותו של תייל מוליך נמצאת:

א) ביחס ישר לקוטרו.
ב) ביחס הפוך לקוטרו.
ג) ביחס ישר לריבוע קוטרו.
ד) ביחס הפוך לריבוע קוטרו.

ג'16) אם נקטין פי שניים את שטח החתך של תייל מוליך:

א) תקטן התנגדותו פי שניים.
ב) תגדל התנגדותו פי שניים.
ג) תגדל התנגדותו פי ארבעה.
ד) תשתנה התנגדותו בהתאם לשינוי הזרם.

ג'17) אם נגדיל פי שניים את קוטרו של מוליך:

א) תגדל התנגדותו פי שניים.
ב) תקטן התנגדותו פי ארבעה.
ג) תקטן התנגדותו פי שניים.
ד) תגדל התנגדותו פי ארבעה.

ג'18) אם נגדיל את אורכו של מוליך פי שניים וגם את קוטרו פי שניים, ההתנגדות:

א) לא תשתנה.
ב) תגדל פי שניים.
ג) תקטן פי ארבעה.
ד) תקטן פי שניים.

ג'19) נתונים שלושה תילים בעלי אורך ושטח חתך שווים. התילים עשויים אותו חומר.
אחד התילים עגול השני רבועי והשלישי מלבני.
התייל בעל ההתנגדות הקטנה ביותר הוא:

א) העגול.
ב) הרבועי.
ג) המלבני.
ד) שלושתם בעלי אותה התנגדות.

ג'20) במתקן חשמלי הגדילו את אורך הקו פי 3. כדי לשמור על החוזק המכני של התילים הגדילו את קוטרם גם כן פי 3. עקב שינויים אלה:

א) התנגדות הקו לא תשתנה.
ב) התנגדות הקו קטנה פי 3.
ג) התנגדות הקו קטנה פי $\sqrt{3}$.
ד) התנגדות הקו קטנה פי 9.

ג'32) חומר בעל מוליכות גבוהה הוא:

א) חומר, דל באלקטרונים חופשיים.
ב) חומר, עשיר באלקטרונים חופשיים.
ג) חומר, עשיר באלקטרוני מסלול.
ד) חומר, דל באלקטרוני מסלול.

ג'33) עם עליית הטמפרטורה, המוליכות של המתכת:

א) עולה.
ב) יורדת.
ג) אינה משתנה.
ד) תלוייה בהתנגדות.

ג'34) המוליכות הסגולית של חומר תלויה ב-:

א) התנגדות החומר.
ב) מוליכות החומר.
ג) מספר האלקטרונים החופשיים.
ד) מספר אלקטרוני המסלול.

ג'35) המוליכות של תייל מוליך נמצאת:

א) ביחס ישר לשטח החתך ולאורך, וביחס הפוך למוליכות הסגולית.
ב) ביחס ישר למוליכות הסגולית ולשטח החתך, וביחס הפוך לאורך.
ג) ביחס ישר למוליכות הסגולית ולאורך, וביחס הפוך לשטח החתך.
ד) המוליכות של תייל מוליך תלויה במוליכות הסגולית בלבד.

הערות: א) היעזר בלוח שבעמוד 63..

ב) בכל מקרה שאין מציינים את הטמפרטורה הכוונה ל- 20°C

ג'1) מה התנגדותו של קו נחושת, אם אורכו 800 מטר והוא מותקן תייל בעל שטח חתך 1.5 ממ"ר, בטמפרטורה 20°C ?

ג'2) מה התנגדותו של תיל ברזל, שאורכו 100 מטר ושטח חתכו 1.2 ממ"ר?

ג'3) חשב את התנגדותו של תיל אלומיניום שטוח, שאורכו 100 מטר ושטח חתכו מלבן שמידותיו 1×2 מ"מ.

ג'4) חשב את התנגדותו של תיל נחושת באורך 10 ק"מ, אשר שטח חתכו 1 ממ"ר.

ג'5) חשב את התנגדותו של תיל נחושת באורך 10 ק"מ, אשר קוטרו 8 מ"מ, בטמפרטורה 20°C .

ג'6) חשב את התנגדותו של תיל נחושת באורך 0.5 ק"מ ששטח חתכו 2 ממ"ר בטמפרטורה 20°C .
מה תהיה התנגדותו, אם נגדיל את אורכו פי שניים?

ג'7) לקטע תייל של 5 מ' התנגדות 0.32 אום. מה התנגדותו של כל התייל אם אורכו 375 מטר?

ג'8) התנגדותו של מוליך 10 אום. מחליפים מוליך זה באחר, העשוי אותו חומר, ואורכו אותו אורך, אך קוטרו מחצית הקוטר.
מה תהיה התנגדות המוליך החדש?

ג'9) התנגדותו של קו, במעגל חשמלי, 8 אום. מגדילים את אורך הקו פי שניים וגם את קוטרו פי שניים. מה תהיה התנגדות הקו?

ג'10) בונים ראוסטט באמצעות תיל ניקלין בקוטר 0.5 מ"מ. התייל כרוך על גבי צינור, העשוי חומר מבדד. חשב את ההתנגדות המירבית של הראוסטט אם אורך כל כריכה הוא 20 ס"מ ומספר הכריכות 600.

ג'11) סליל של אלקטרומגנט מלופף תיל נחושת בקוטר 0.5 מ"מ.
מספר הכריכות 500 וקוטר כריכה ממוצעת היא 50 מ"מ.
חשב את התנגדות הסליל בטמפרטורה 20°C .
הדרכה: חשב תחילה את אורכה של כריכה ממוצעת.

ג'12) סליל של אלקטרומגנט מלופף 1000 כריכות תיל נחושת ששטח החתך שלו 1 ממ"ר. הקוטר החיצוני של הסליל 110 מ"מ וקוטרו הפנימי 50 מ"מ. חשב את התנגדות הסליל.
הדרכה: חשב תחילה את קוטרה של כריכה ממוצעת $d = \frac{50 + 110}{2} = 80mm$

ג'13) סליל מלופף תיל נחושת בקוטר 0.3 מ"מ על צינור, העשוי חומר מבדד בעל קוטר חיצוני 15 מ"מ. בכל שכבה 125 כריכות ומספר השכבות 100.
חשב את התנגדות הסליל, אם קוטרו החיצוני 85 מ"מ.

ג'14) מאיזו מתכת עשוי תייל, שאורכו 80 מטר, שטח חתכו 0.5 ממ"ר והתנגדותו 64 אום, בטמפרטורה 20°C .
הדרכה: חשב את ההתנגדות הסגולית וקבע את סוג המתכת לפי הטבלה.

ג'15) התנגדותו של מוליך באורך 500 מטר ושטח חתך 1.8 ממ"ר היא 5Ω .
מאיזה חומר עשוי המוליך?

ג'16) מה אורכו של תיל כרום ניקל, אם התנגדותו 230 אום ושטח החתך שלו 0.1 ממ"ר?

ג'17) כמה מטר תיל נחושת, בעל שטח חתך של 0.3 ממ"ר, דרושים כדי ללפף סליל לאלקטרומגנט, על מנת שהתנגדותו תהיה 9 אום?

ג'18) קוטרו של תיל נחושת 2 מ"מ והתנגדותו ב- 20°C היא 0.5 אום.
חשב את אורך התייל.

ג'19) מהו שטח החתך של תיל ניקל, באורך 500 מטר, אם התנגדותו ב- 20°C היא 50 אום?

ג'20) מה קוטרו של תיל נחושת באורך 1000 מטר, אם התנגדותו 10 אום?

ג'21) מה צריך להיות שטח החתך של תיל אלומיניום, שאורכו 200 מטר, על מנת שהתנגדותו תשווה להתנגדות תיל נחושת שאורכו 200 מטר ושטח החתך שלו 1 ממ"ר.

ג'22) בכמה אחוזים צריך להיות גדול קוטרו של תיל אלומיניום, מקוטרו של תיל נחושת, בעל אותו אורך, על מנת שיהיו בעלי אותה התנגדות?

ג'23) חשב את ההתנגדות הסגולית של נחושת בטמפרטורה 60°C .

ג'24) חשב את ההתנגדות הסגולית של אלומיניום בטמפרטורה 100°C .

ג'25) חשב את ההתנגדות הסגולית של כסף בטמפרטורה 80°C .

ג'26) גוף חימום, העשוי כרום-ניקל, מתחמם עד 600°C . התנגדות גוף החימום בטמפרטורה זו היא 50 אום. מהו אורך התייל של גוף החימום, אם שטח חתכו 0.5 ממ"ר?

הדרכה: חשב תחילה את ההתנגדות הסגולית ב- 600°C .

ג'27) לבניית גוף חימום, שהתנגדותו בטמפרטורה 420°C צריכה להיות 80 אום, משתמשים בתיל ניקלין בעל חתך מלבני שמידותיו 0.5×0.3 מ"מ.
חשב את אורך התייל הדרוש.

ג'28) התנגדותו של תיל נחושת בטמפרטורה 20°C היא 20 אום.
חשב את התנגדות התייל בטמפרטורה 70°C .

ג'29) חשב את התנגדותו של תיל קונסטנטן באורך 200 מטר ובשטח חתך 1 ממ"ר.
הטמפרטורה של התייל 80°C .

ג'30) מה התנגדותו של תיל ברזל באורך 1 ק"מ וקוטר 2 מ"מ, בטמפרטורה 80°C ?

ג'31) חשב את התנגדותו של תיל כרום ניקל, בעל חתך מלבני, שמידות החתך הן 1×2 מ"מ ואורכו 50 מטר. הטמפרטורה 320°C .

ג'32) התנגדותו של מוליך ברזל היא 26 אום בטמפרטורה 100°C .
מה התנגדות המוליך בטמפרטורה 20°C ?
הדרכה: שנה את נושא הנוסחא לחישוב R_{20} .

ג'33) תיל הלהט של נורה חשמלית עשוי טונגסטן והתנגדותו 100 אום בטמפרטורה 2000°C.
מה התנגדות תיל הלהט בטמפרטורה 20°C ?

ג'34) התנגדות תיל ברזל בטמפרטורה 20°C היא 8 אום. בכמה עלתה הטמפרטורה, אם ההתנגדות עלתה ל-10 אום.
הדרכה: שנה את נושא הנוסחא לחישוב $\Delta\theta$.

ג'35) התנגדותו של סליל נחושת ב- 20°C היתה 20 אום. לאחר התחממות הסליל, עלתה התנגדותו ל-22 אום. מה הטמפרטורה של הסליל?

ג'36) נגד מלופף תיל כרום-ניקל. בכמה °C מותר להעלות את הטמפרטורה שלו, אם שינוי ההתנגדות המותר הוא 1%?
הדרכה: צא מהנחה $\frac{R_{\theta_2}}{R_{\theta_1}} = 1.01$

ג'37) התנגדותו של קו נחושת בטמפרטורה 20°C היא 2 אום.
מה תהיה התנגדותו בטמפרטורה 0°C ?

ג'38) קבע את התנגדותו של מוליך נחושת בטמפרטורה 20°C ו- 10°C אם שטח החתך שלו 90 ממ"ר ואורכו 120 ק"מ.

ג'39) בציור ג'6 מתואר מעגל חשמלי, הכולל מקור מתח, צרכן וקו. הקו עשוי תיל נחושת ששטח החתך שלו 0.3 ממ"ר, והמרחק בין מקור הזרם לצרכן הוא 25 מטר. חשב את התנגדות הקו בטמפרטורה $20°C$ ובטמפרטורה $-30°C$.

ציור ג'6

הדרכה: שים לב לכך, שהקו כולל שני תילים שווי אורך.

ג'40) התנגדותו של תיל מוליבדן בטמפרטורה $20°C$ היא 60 אום. חשב את התנגדות התייל בטמפרטורה $120°C$. נתון: $\alpha_{20} = 0.0034 \frac{1}{°C}$.

ג'41) התנגדותו של תיל נחושת בטמפרטורה $40°C$ היא 10Ω . חשב את ההתנגדות בטמפרטורה $100°C$. נתון: $\alpha_{40} = 0.0036 \frac{1}{°C}$.

פרק ד - המתח החשמלי

הפרש פוטנציאלים

ראינו בפרק ב׳, שלמען הזרמת זרם חשמלי במוליך, עלינו לגרום לכך שבין שני קצות המוליך יתקיים הפרש בריכוז אלקטרונים חופשיים.

אנו מכנים את המצב החשמלי הנוצר כתוצאה מכך בשם הפרש פוטנ-ציאלים.

נניח שברשותנו שני גופים, אשר אחד מהם טעון מטען חיובי והשני טעון מטען שלילי. בין שני הגופים קיים הפרש פוטנציאלים. אם נחבר את שני הגופים באמצעות מוליך, יזרום דרכו זרם חשמלי, עד אשר יעלם הפרש הפוטנציאלים.

ניתן, אם כן, לראות את הפרש הפוטנציאלים כגורם תנועתם של האלקטרונים לאורכו של מוליך.

הגדרת המתח החשמלי

כפי שראינו, הפרש הפוטנציאלים הוא הגורם המאלץ את האלקטרונים החופשיים לנוע לאורכו של מוליך.

המושג "מתח חשמלי" שסימונו (U), אינו אלא הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות. אי לכך נגדיר את המתח החשמלי כדלהלן:

<u>מתח חשמלי הוא הגורם המאלץ את האלקטרונים החופשיים לנוע לאורכו של מוליך.</u>

כל עוד שורר מתח בין שתי נקודות, המחוברות ביניהן באמצעות מוליך, יזרום בו זרם, ועם היעלם המתח, תיפסק זרימת הזרם.

בין הדקיו של "מ ק ו ר מ ת ח", שורר מתח חשמלי, ובהיותו מחובר במעגל חשמלי סגור הוא מאלץ את האלקטרונים לנוע.

ככל שהמתח יהיה גבוה יותר, יזרום במעגל זרם חשמלי חזק יותר.

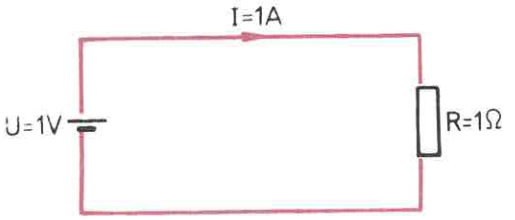
מקור המתח מאלץ את האלקטרונים לנוע במעגל החשמלי, כפי שמשאבת מים מאלצת את המים לנוע בצינורות מים. ניתן להשוות את המתח החשמלי, של מקור מתח, ללחץ משאבת מים, ולהתיחס למתח כלחץ חשמלי.

י ח י ד ת ה מ ת ח ה ח ש מ ל י

כינויה של יחידת המתח החשמלי הוא "ו ו ל ט" וסימונה [V] .

<u>וולט אחד הוא המתח החשמלי המזרים זרם בשיעור "אמפר" אחד, דרך התנגדות בת "אום" אחד.</u>

הווה אומר, שאם במעגל חשמלי מצוי צרכן, שהתנגדותו 1 אום, ומקור שבין הדקיו שורר מתח של 1 וולט, עוצמת הזרם במעגל תהיה 1 אמפר (ציור ד' 1).



ציור ד' 1

נהגים להשתמש גם כן ביחידות קטנות וגדולות מוולט והן מ י ל י ו ו ל ט ו-ק י ל ו ו ו ל ט.

$1\ mV = \frac{1}{1000}\ V = 10^{-3}V$ (מיליוולט)

$1\ kV = 1000\ V = 10^{3}V$ (קילוווולט)

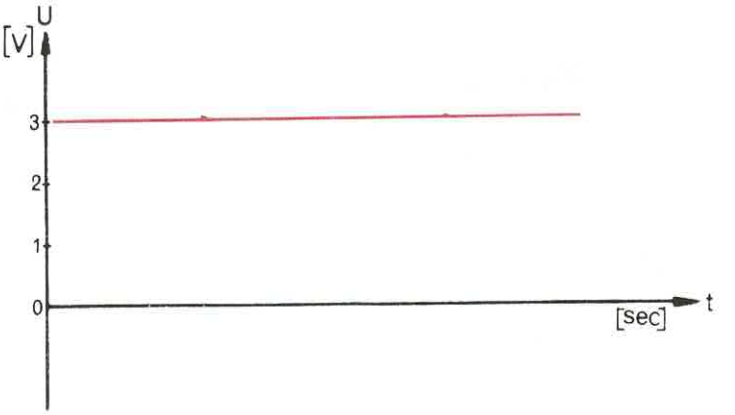
מ ק ו ר ו ת מ ת ח י ש ר

כדי שבמעגל חשמלי יזרום זרם קבוע, יש לחבר אליו מקור מתח.

"מ ת ח י ש ר" הוא מתח, הגורם זרימת זרם ישר, ומקור מתח ישר הוא מקור מתח, שבין הדקיו שורר מתח ישר.

בציור ד' 2 מופיע תאור גרפי של מתח ישר, הדומה לתאור הגרפי של זרם ישר (ראה ציור ב' 13).

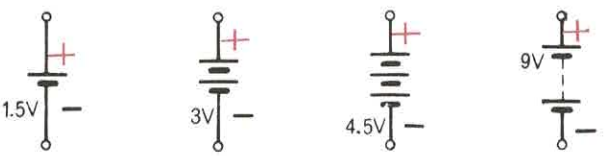
אנו רואים, כי המתח הוא קבוע ושווה ל-3 וולט.



ציור ד׳2

מקור המתח הישר, הפשוט ביותר, הוא התא החשמלי אותו הזכרנו בפרק ב׳. מצויים סוגים שונים של תאים חשמליים אך המקובל ביותר הוא זה השימושי בפנסי כיס. המתח של תא מסוג זה הוא 1.5 וולט. מתח זה הוא נמוך יחסית ומסיבה זו משתמשים בסוללות (ראה פרק ב׳). סוללות מורכבות מספר תאים והודות לכך ניתן להפיק מהן מתחים גבוהים יותר. סוללות מקובלות הן סוללות ל-9, 6, 4.5 וולט.

הסימונים המוסכמים לסוללות מופיעים בציור ד׳3.

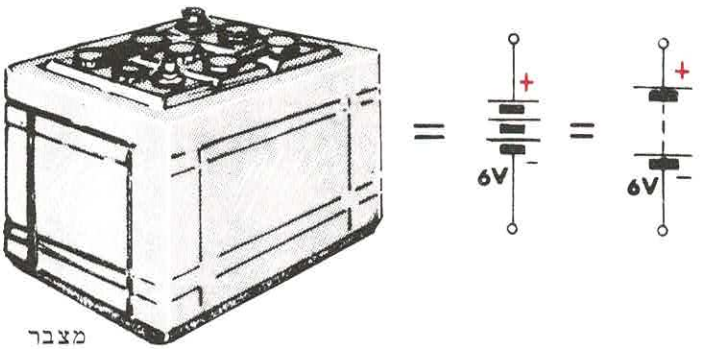


ציור ד׳3

סוג אחר של מקורות מתח ישר הם המצברים הבנויים תאים. מתח כל תא של מצבר הוא 2 וולט, והמצברים המקובלים בנויים למתחים של 24, 12, 6 וולט.

הסימונים המוסכמים למצברים, זהים לאלה המקובלים לסימון סוללות.

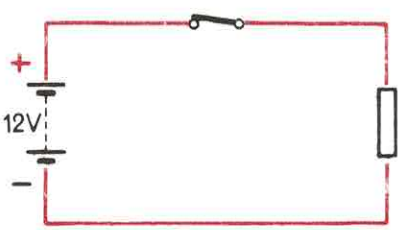
בציור ד׳4 מופיע מצבר ל-6 וולט ולידו הסימונים המוסכמים.



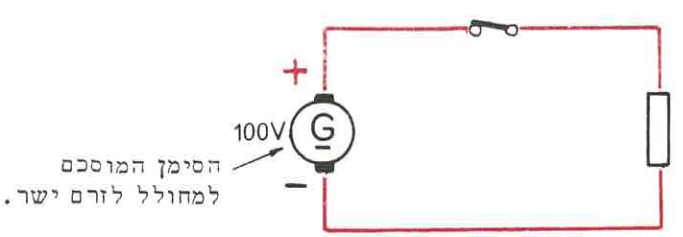
ציור ד׳4

מתח ישר ניתן להפיק גם באמצעות מכונה חשמלית הקרויה "מחולל לזרם ישר" (גנרטור לזרם ישר) ונוהגים להשתמש בה, כאשר מעוניינים במתחים גבוהים מאלה שמקובל להפיק באמצעות סוללות ומצברים.

בציור ד׳5 מופיע תרשים של מעגל חשמלי הכולל מצבר ל-12 וולט, ובציור ד׳6 מופיע תרשים של מעגל חשמלי הכולל מחולל (גנרטור) ל-100 וולט.



ציור ד׳5



ציור ד׳6

תחומי המתח

מכון התקנים הישראלי קבע שלושה תחומי מתחים והם:

מתח נמוך מאד	0 - 50 V
מתח נמוך	50 - 1000 V
מתח גבוה	מעל ל- 1000 V

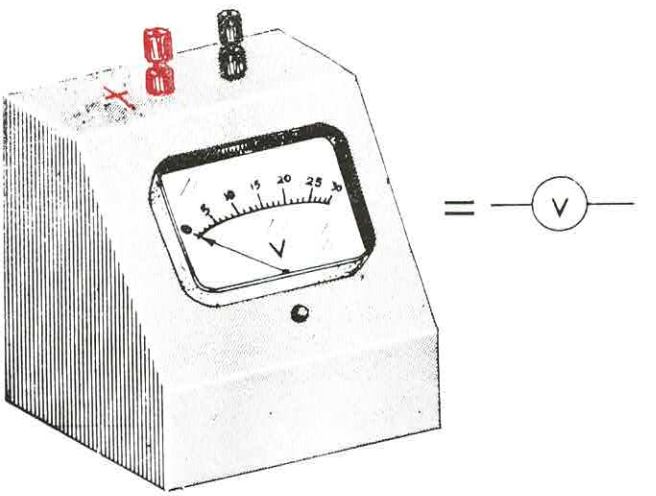
אמנם מתחים, המצויים בתחום 50 - 1000 V, הוגדרו כמתחים נמוכים, אך עלינו לזכור, כי הגדרה זו אינה רומזת, שהמתחים המצויים בתחום זה אינם מהווים סכנה לגוף האדם. חשוב לזכור, כי אפילו מתח בשעור 100 וולט, או נמוך ממנו, עלול לגרום לתופעות פיסיולוגיות בלתי רצויות ובמיקרים מסוימים אף קטלניות.

חברת החשמל בארצנו מספקת, לדירות מגורים, מתח חילופין של 220 וולט. עלינו לזכור ולשנן שוב ושוב, כי מתח בשעור זה מסוכן ביותר ויש להימנע מלבוא במגע עם תילים או רכיבי חשמל אחרים, בלתי מבודדים, המחוברים לרשת החשמל.

מתח הרשת בארצות-הברית הוא 110 וולט ומכשירי החשמל המתוכננים ומיוצרים בארצות הברית מיועדים למתח זה.

מדידת מתח חשמלי

מתח חשמלי ניתן למדידה באמצעות מכשיר הקרוי מ ד - מ ת ח או וולטמטר (ציור ד'7).

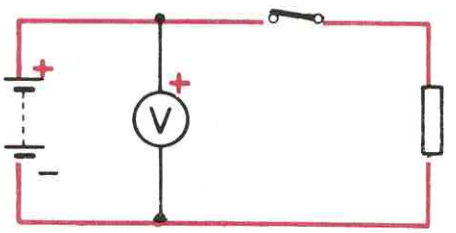


ציור ד'7

המכשיר בנוי מנגנון חשמלי, אשר את פעולתו נכיר בפרק הדן במכשירי מדידה. בחזית המכשיר מצוי לוח שנתות ומחוג, המציין את המתח החשמלי, השורר בין שתי הנקודות, אליהן מחובר המכשיר. מעל המכשיר מצויים שני הדקים, המשמשים לחיבור המכשיר במעגל החשמלי.

בציור ד׳8 אנו רואים תרשים של מעגל חשמלי, בו מחובר מד מתח, אשר תפקידו למדוד את המתח השורר בין הדקי הסוללה.

שים לב:
ההדק החיובי של מד המתח מחובר בצד ההדק החיובי של מקור המתח.



ציור ד׳8

שאלות סיכום לפרק ד

בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה, ולכל שאלה מספר תשובות, אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה, ולסמן אותה על דף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות, המצויות בסוף הספר, כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ד׳1) הפרש פוטנציאלים ניתן ליצור על-ידי:

א) יצירת הפרש בריכוז האלקטרונים החופשיים בין שתי נקודות.

ב) סגיפת המפסק, המצוי במעגל החשמלי.

ג) טעינת המוליך במטען חשמלי חיובי.

ד) טעינת המוליך במטען חשמלי שלילי.

ד׳2) הפרש פוטנציאלים חשמלי מבטא את:

א) הכוח המביא למשיכה או לדחייה של מטענים.

ב) המצב החשמלי הנוצר כתוצאה מהפרש בריכוז אלקטרונים חופשיים בין שתי נקודות.

ג) התכונה של הזרם החשמלי לזרום במוליך.

ד) כמות האלקטרונים, המצויים במקור מתח.

ד׳3) הגדרת המושג "הפרש פוטנציאלים" היא:

א) מספר האלקטרונים, העוברים דרך מקור זרם בשניה אחת.

ב) הסיבה המאלצת את האלקטרונים לנוע לאורכו של מוליך.

ג) כמות האלקטרונים, שנוספו לאטומים והוציאו אותם ממצב איזון.

ד) הפרש בין מספר האלקטרונים והפרוטונים במוליך.

ד'4) מתח חשמלי הוא:

א) הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות.

ב) הגורם המונע זרימת אלקטרונים במוליך.

ג) הגורם ההופך מבדדים למוליכים.

ד) תכונתו של כל מקור מתח.

ד'5) הגדרת המתח החשמלי היא:

א) הגורם המתנגד לזרימת הזרם.

ב) הגורם היוצר הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות.

ג) הגורם המאלץ את האלקטרונים לנוע לאורכו של מוליך.

ד) תופעת זרימת הזרם החשמלי לאורכו של מוליך.

ד'6) סיבה לתנועת אלקטרונים ניתן ליצור באמצעות:

א) מוליך. ג) צרכן.

ב) פוטנציאל. ד) מקור מתח.

ד'7) יחידת המתח החשמלי היא:

א) אמפר. ג) הרץ.

ב) קולון. ד) וולט.

ד'8) הגדרת יחידת המתח החשמלי "וולט" היא:

א) המתח המזרים זרם בשיעור אמפר אחד דרך התנגדות בת אום אחד.

ב) הפרש הפוטנציאלים, המצוי בין הדקיו של מקור מתח.

ג) המתח המזרים זרם בשיעור אמפר אחד דרך כל התנגדות.

ד) מתח הרשת הארצית שלנו הוא 220 וולט.

ד'9) איזה משפט הוא הנכון?

א) האמפר היא יחידה גדולה מוולט.

ב) האמפר היא יחידה קטנה מוולט.

ג) האמפר והוולט הן יחידות שוות.

ד) האמפר והוולט מציינים תופעות שונות ואין להשוותם.

ד'10) תפקידו של וולטמטר הוא:

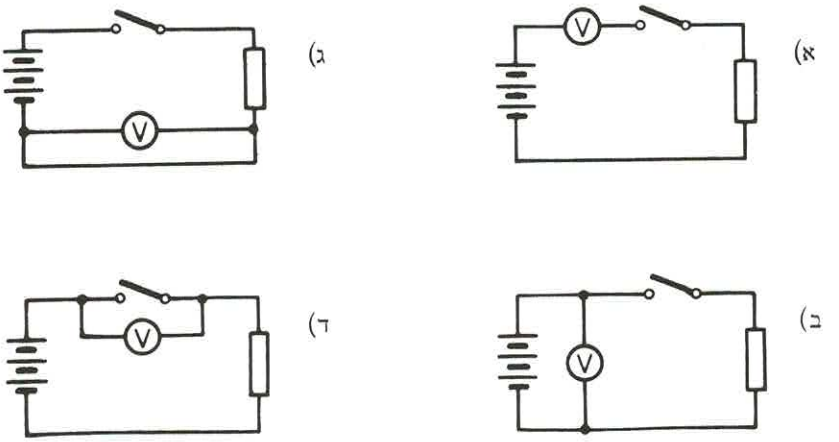
א) לציין, אם קיים מתח במעגל.

ב) למדוד מתח חשמלי.

ג) למדוד פוטנציאלים.

ד) להראות, אם מעגל חשמלי פתוח או סגור.

ד'11) כיצד תחבר וולטמטר במעגל חשמלי?



ד'12) כתוצאה מהגדלת המתח החשמלי במעגל:

א) תיגדל עוצמת הזרם החשמלי.

ב) תיקטן עוצמת הזרם החשמלי.

ג) לא תשתנה עוצמת הזרם החשמלי, כי היא תלויה בהתנגדות בלבד.

ד) אין קשר בין המתח לעוצמת הזרם.

פרק ה - **חוק אום**

הקשר בין המתח, עוצמת הזרם וההתנגדות

ראינו בפרק ג׳, כי עוצמת הזרם החשמלי תלויה בהתנגדות, והואיל והתנגדות היא התכונה של החומר להתנגד לזרימת הזרם, הרי שככל שנגדיל את ההתנגדות במעגל חשמלי, תקטן עוצמת הזרם. מאותה סיבה, ככל שנקטין את ההתנגדות, תגדל עוצמת הזרם. אנו יכולים לסכם ולומר כי עוצמת הזרם נמצאת ביחס הפוך להתנגדות.

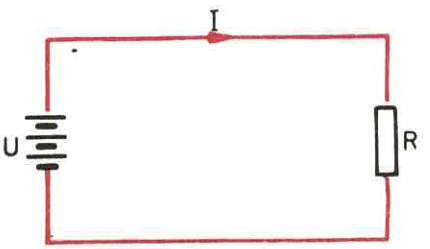
ראינו בפרק ד׳, כי עוצמת הזרם החשמלי תלויה במתח הואיל והמתח מהווה את הגורם המאלץ את האלקטרונים לנוע, הרי שככל שנגדיל את המתח, תגדל עוצמת הזרם וככל שנקטינו, תקטן עוצמת הזרם. ניתן לסכם ולומר, כי עוצמת הזרם נמצאת ביחס ישר למתח.

לפנינו, אם כן, שלשה גורמים הקשורים ביניהם: המתח החשמלי (U) , עוצמת הזרם (I) וההתנגדות (R) (**ציור** ה׳ 1).

חוק אום

הקשר בין המתח, עוצמת הזרם וההתנגדות הוכח על-ידי הפיסיקאי "אום" והחוק **קרוי** על שמו:

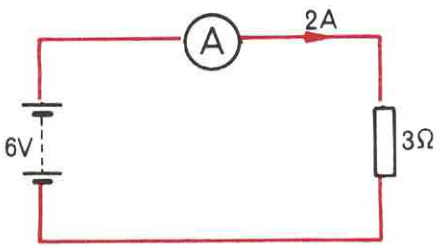
<u>עוצמת הזרם במעגל חשמלי</u>
<u>נמצאת ביחס ישר למתח וביחס הפוך להתנגדות.</u>



ציור ה׳ 1

ברשותנו שני מקורות מתח ל-6 וולט ול-12 וולט, שני נגדים שהתנגדותם 3 אום ו-6 אום, וכמו כן מד זרם.

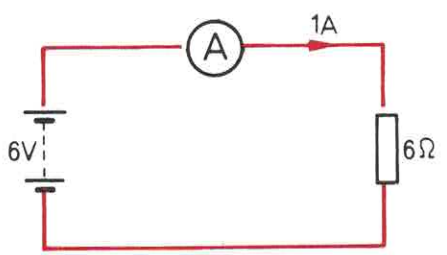
א) נרכיב מעגל, אשר יכלול מקור מתח ל-6 וולט, מד-זרם, ונגד שהתנגדותו 3 אום (ציור ה'2). ניוכח, שמד-הזרם יציין 2 אמפר.



ציור ה'2

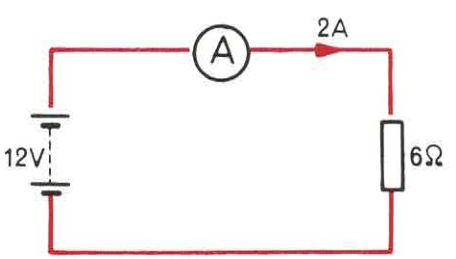
נחליף עתה את הנגד ונרכיב במקומו את הנגד שהתנגדותו 6 אום - מיד ניוכח שהזרם יקטן ל-1 אמפר (ציור ה'3).

אנו רואים שעם גדול ההתנגדות קטנה עוצמת הזרם. אם נקח בחשבון את הערכים של ההתנגדויות ושל הזרמים, הרי הכפלת ההתנגדות גרמה לזרימת מחצית הזרם.



ציור ה'3

ב) נתיחס שוב למעגל, המופיע בציור ה'3. הזרם הזורם במעגל זה הוא 1 אמפר. נחליף עתה את מקור המתח ונשלב במעגל את המקור של 12 וולט (ציור ה'4). נראה, שהגדלת המתח מ-6 וולט ל-12 וולט גרמה להגדלת עוצמת הזרם מ-1 אמפר ל-2 אמפר, או במילים אחרות: הכפלת המתח גרמה להכפלת עוצמת הזרם.



נרכיב את הנוסחא המקשרת בין שלשת הגורמים.

הואיל ועוצמת הזרם נמצאת ביחס ישר למתח וביחס הפוך להתנגדות, תהיה הנוסחא המקשרת בין שלושת

הגורמים:

$$I = \frac{U}{R}$$

I : עוצמת הזרם החשמלי ביחידות "אמפר" [A]

U : המתח החשמלי ביחידות "וולט" [V]

R : ההתנגדות החשמלית ביחידות "אום" [Ω]

באמצעות נוסחא זו נוכל לחשב את הזרם במעגל חשמלי, כאשר נתונים המתח וההתנגדות.

דוגמא: צרכן, שהתנגדותו 6 אום מוזן על-ידי מצבר של 12 וולט.
חשב את עוצמת הזרם הזורם במעגל.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{6} = 2A$$

על-ידי שינוי נושא הנוסחא נוכל להפיק שתי נוסחאות אחרות, באמצעותן נחשב את המתח, כאשר נתונים עוצמת הזרם וההתנגדות; ואת ההתנגדות, כאשר נתונים המתח ועוצמת הזרם.

הנוסחא לחישוב המתח תהיה:

$$U = IR$$

דוגמא: מהו המתח המזרים זרם בעוצמה של 5 אמפר דרך נגד שהתנגדותו 10 אום?

$$U = IR = 5 \times 10 = 50V$$

הנוסחא לחישוב ההתנגדות תהיה:

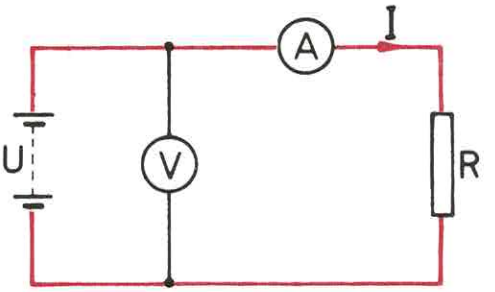
$$R = \frac{U}{I}$$

דוגמא: מה התנגדותו של צרכן, אם מתח בשיעור 24 וולט מזרים דרכו זרם בעוצמה של 0.5 אמפר?

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24}{0.5} = 48\Omega$$

מדידת התנגדות באמצעות מד-מתח ומד-זרם

ניתן לנצל את חוק אום כדי למדוד את התנגדותו הבלתי ידועה של צרכן. לשם כך מחברים את הצרכן למקור מתח כלשהו ומשלבים במעגל מד-מתח ומד-זרם (ציור ה'5).



ציור ה'5

מד-המתח מודד את המתח המסופק למעגל, ומד הזרם מודד את עוצמת הזרם במעגל. נוכל להעזר בחוק אום כדי לחשב את ההתנגדות (R) הבלתי ידועה. או במילים אחרות, עלינו לחלק את הקריאה של מד-המתח בקריאה של מד-הזרם.

דוגמא: כדי למדוד את ערכה של התנגדות בלתי ידועה (R), מחברים אותה במעגל חשמלי כדוגמת זה המתואר בציור ה'5.
חשב את R אם מד המתח מציין 12 וולט ומד הזרם מציין 0.25 אמפר.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0.25} = 48\Omega$$

שאלות סיכום ובעיות לפרק ה

בחן את ידיעותיך

לפניך אוסף שאלות ברירה. לכל שאלה מספר תשובות אשר רק אחת מהן נכונה. עליך לבחור את התשובה הנכונה ולסמן אותה בדף נפרד. לאחר מכן השווה את תשובותיך עם התשובות, המצויות בסוף הספר, כדי לקבוע עד כמה מובן לך החומר אשר למדת.

ה'1) עוצמת הזרם, במעגל חשמלי, נמצאת ביחס הפוך ל-:

א) מתח המסופק למעגל.
ב) התנגדות המעגל.
ג) שטח החתך של המוליכים.
ד) מטען החשמלי.

ה'2) עוצמת הזרם, במעגל חשמלי, נמצאת ביחס ישר עם:

א) ההתנגדות.
ב) ההתנגדות הסגולית.
ג) המתח המסופק למעגל.
ד) אורך המוליכים.

ה'3) חוק אום קובע, כי עוצמת הזרם, במעגל חשמלי, נמצאת:

א) ביחס ישר למתח וביחס הפוך להתנגדות.
ב) ביחס הפוך למתח וביחס הפוך להתנגדות.
ג) ביחס ישר להתנגדות וביחס הפוך למתח.
ד) ביחס ישר למתח וביחס ישר להתנגדות.

ה'4) אם נגדיל את המתח, המסופק למעגל חשמלי, מבלי לשנות את ההתנגדות:

א) תגדל עוצמת הזרם במעגל.
ב) תקטן עוצמת הזרם במעגל.
ג) לא תשתנה עוצמת הזרם במעגל.
ד) לא ניתן להגדיל את המתח מבלי לשנות את ההתנגדות.

ה'5) אם מגדילים את ההתנגדות, במעגל חשמלי, מבלי לשנות את המתח:

א) עוצמת הזרם גם כן תגדל.

ב) עוצמת הזרם לא תשתנה.

ג) עוצמת הזרם תקטן.

ד) לא ניתן לשנות את ההתנגדות מבלי לשנות את המתח.

ה'6) עם הכפלת המתח המסופק למעגל חשמלי:

א) יוכפל גם מספר האלקטרונים במעגל.

ב) יקטן הפרש הפוטנציאלים.

ג) תוכפל גם עוצמת הזרם במעגל.

ד) תוכפל גם התנגדות המעגל.

ה'7) לחישוב עוצמת הזרם במעגל חשמלי נשתמש בנוסחא:

א) $I = \frac{U}{R}$ ג) $I = UR$

ב) $I = \frac{U}{\rho}$ ד) $I = \frac{R}{U}$

ה'8) לחישוב המתח הדרוש כדי להזרים עוצמת זרם מסוימת דרך התנגדות נתונה נשתמש בנוסחא:

א) $U = I\Omega$ ג) $U = \frac{R}{I}$

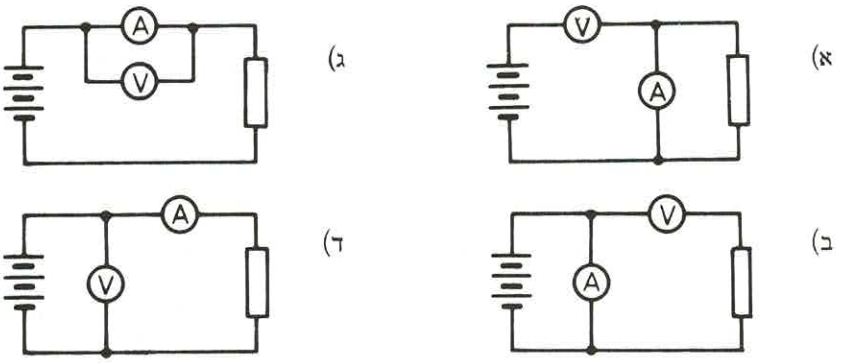
ב) $U = \frac{I}{R}$ ד) $U = IR$

ה'9) לחישוב ההתנגדות נשתמש בנוסחא:

א) $R = \rho \frac{A}{\ell}$ ג) $R = \frac{U}{I}$

ב) $R = UI$ ד) $R = \frac{I}{U}$

ה'10) התרשים המתאים למדידת התנגדות באמצעות אמפרמטר וולטמטר הוא:



ה'11) לחישוב ההתנגדות, הנמדדת באמצעות וולטמטר ואמפרמטר, עלינו:

א) לכפול את שתי הקריאות זו בזו.

ב) לחלק את המתח, שמציין הוולטמטר בעוצמת הזרם, שמציין האמפרמטר.

ג) לחלק את עוצמת הזרם, שמציין האמפרמטר במתח, שמציין הוולטמטר.

ד) לחבר את שתי הקריאות.

ב ע י ו ת

ה'1) התנגדותו של גוף החימום של מגהץ, המיועד למתח בשעור 220 וולט, שווה 50 אום. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרכו.

ה'2) איזו עוצמת זרם צורך תנור-חימום חשמלי, אם הוא מיועד למתח של 220 וולט והתנגדות גוף החימום שלו 40 אום?

ה'3) איזו עוצמת זרם תצרוך כירה חשמלית, המיועדת למתח של 220 וולט, אם התנגדות גוף החימום שלה היא 80 אום?

ה'4) התנגדותו של ראוסטט מכוונת ל-60 אום. מה תהיה עוצמת הזרם, אם מחברים את הראוסטט למתח 24 וולט?

ה'5) נגד, שהתנגדותו 1000 אום מחובר לסוללה של 12 וולט. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד.

ה'6) נגד העשוי תיל כרום ניקל, באורך 3 מטר ושטח חתך 0.3 ממ"ר, מחובר למצבר בעל מתח 24 וולט. חשב את עוצמת הזרם הזורם דרך הנגד.
הדרכה: חשב תחילה את ההתנגדות.

ה'7) מכשיר חשמלי, שהתנגדותו 12 אום, צורך זרם שעוצמתו 0.5 אמפר.
לאיזה מתח מחובר המכשיר?

ה'8) לאיזה מקור מתח יש לחבר נגד, שהתנגדותו 2 אום, על מנת שעוצמת הזרם אשר יזרום דרכו תהיה 10 אמפר?

ה'9) מהו המתח הדרוש, כדי להזרים זרם שעוצמתו 5 אמפר, דרך צרכן שהתנגדותו 12 אום?

ה'10) גוף החימום של מגהץ חשמלי מתוכנן לזרם שעוצמתו 2.2 אמפר.
לאיזה מתח מתאים המגהץ, אם התנגדות גוף החימום שלו היא 100 אום?

ה'11) מתח, בשיעור 24 וולט, מזרים עוצמת זרם של 5 אמפר, דרך נגד מסויים. איזה מתח דרוש, כדי להזרים עוצמת זרם של 4.5 אמפר, דרך אותו הנגד?

ה'12) לאיזה מתח מותר לחבר מכשיר חשמלי, אשר על לוחית הזהוי שלו רשום:
0.5A ; 440Ω

ה'13) לאיזה מתח יש לחבר מכשיר חשמלי, אשר על לוחית הזהוי שלו רשום:
0.25A ; 440Ω

ה'14) דרך נגד, המחובר במעגל חשמלי, זורם זרם שעוצמתו 6 אמפר. דרך אותו נגד, במעגל אחר, זורם זרם שעוצמתו 3 אמפר.
מהו היחס בין המתחים בשני המעגלים?

ה'15) פנס מכונית, הניזון ממצבר שמתחו 6 וולט, צורך עוצמת זרם בשיעור 2.5 אמפר.
חשב את התנגדות הפנס.

ה'16) גוף החימום של קומקום חשמלי צורך 4.4 אמפר, בהיותו מחובר לרשת (220V),
חשב את התנגדות גוף החימום.

ה'17) מכשיר חשמלי, המתוכנן למתח 220 וולט, צורך זרם בעוצמה של 200 מיליאמפר.
חשב את התנגדותו.

ה'18) מנוע חשמלי צורך זרם, בעוצמה של 2.2 אמפר, בהיותו מחובר לרשת המספקת מתח בשעור 110 וולט. חשב את התנגדות המנוע.

ה'19) מעונינים ללפף נגד בתיל ניקלין, בעל שטח חתך של 0.1 ממ"ר. דרך הנגד חייב לזרום זרם שעוצמתו 0.2 אמפר, בהיותו מחובר למתח של 12 וולט.
חשב את אורך התייל.

ה'20) סליל, המלופף תיל נחושת, שאורכו 500 מטר, מחובר למקור מתח של 9 וולט, דרך אמפרמטר. חשב את שטח החתך של התייל אם האמפרמטר מציין 1 אמפר.

ה'21) למדידת התנגדותו של צרכן, מחברים אותו למקור מתח ומשלבים במעגל אמפרמטר וולטמטר.
האמפרמטר מציין 1.8 אמפר והוולטמטר מציין 54 וולט.
חשב את התנגדות הצרכן.

ה'22) כדי לדעת את התנגדותו של גוף חימום, במצב קר ובמצב עבודה, מחברים אותו תחילה למקור מתח נמוך (על מנת שלא יתלהט), ומשלבים במעגל מד-מתח ומד-זרם. מד-הזרם מציין 0.4 אמפר ומד המתח מציין 6 וולט.
לאחר מכן מחברים את אותו המעגל למתח עבודה. מד המתח מציין 220 וולט ומד-הזרם מציין 10 אמפר.'
חשב את התנגדות גוף החימום במצב קר ובמצב עבודה.

ה' 23) השלם את הטבלה הבאה:

מס'	המתח [V]	הזרם [A]	ההתנגדות [Ω]
1	6		200
2	24	0.15	
3		0.03	1000
4		3.8	100
5	220	20	
6	12		600
7		3.5	5.6